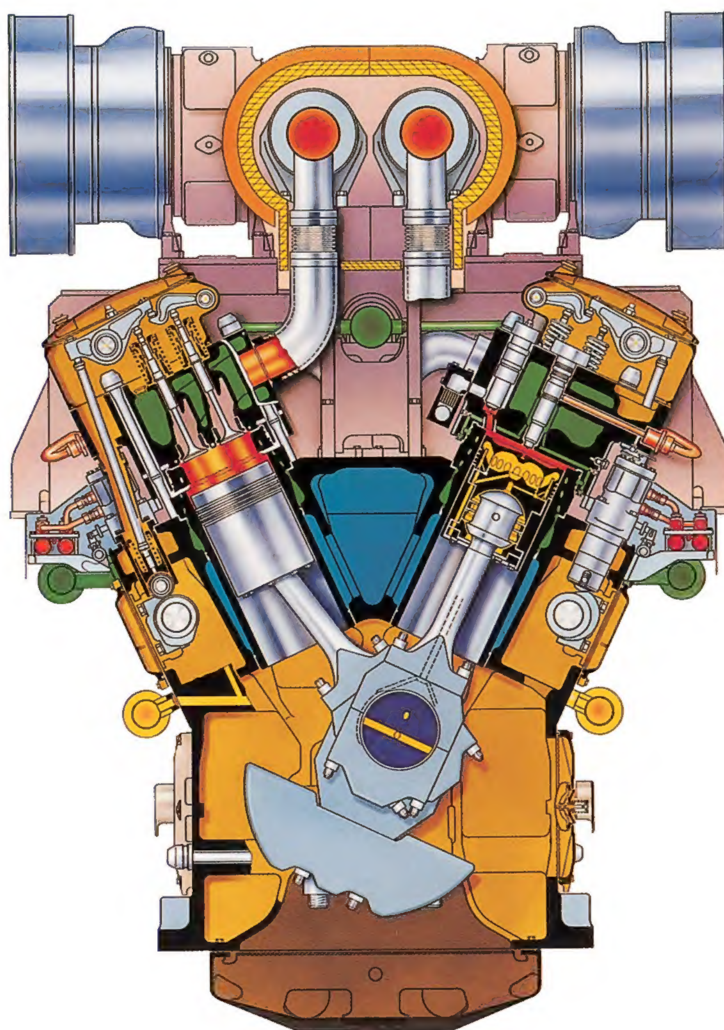


ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ

ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ

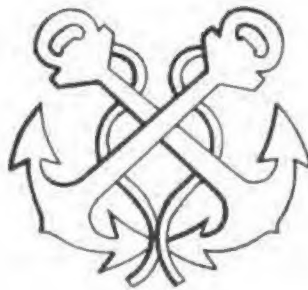


Λαζάρου Χ. Κλιάνη
Ιωάννη Κ. Νικολού
Ιωάννη Α. Σιδέρη

ΑΘΗΝΑ 2002

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ

ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

Α΄ ΕΚΔΟΣΗ 2002
ISBN: 960-337-046-0

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», προείδε ενωρίτατα και σχημάτισε τη βαθιά πεποίθηση ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο του έθνους αποτελεί η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας σε συνδυασμό προς την ηθική τους αγωγή.

Την πεποίθησή του αυτή την μετέτρεψε σε γενναία πράξη ευεργεσίας, όταν κληροδότησε σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, τον Φεβρουάριο του 1956 συνεστήθη το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου την διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Από τη στιγμή εκείνη άρχισαν πραγματοποιούμενοι οι σκοποί που οραματίσθηκε ο Ευγένιος Ευγενίδης και συγχρόνως η εκπλήρωση μιας από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου. Το έργο του Ιδρύματος συνέχισε από το 1981 μέχρι το 2000 ο Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης· έκτοτε συνεχίζει αυτό ο κ. Λεωνίδας Δημητριάδης-Ευγενίδης.

Κατά την κλιμάκωση των σκοπών του, το Ίδρυμα προέταξε την έκδοση τεχνικών βιβλίων τόσο για λόγους θεωρητικούς όσο και πρακτικούς. Διεπιστώθη πράγματι ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός των μαθητών με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθεταν ορθά θεμέλια στην παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των σπουδαστών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε τότε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαιδεύσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές. Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61288/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και συνεκροτήθη και η αρμόδια Επιτροπή Εκδόσεων.

Αποτέλεσμα της συνεργασίας αυτής ήταν η έκδοση της Σειράς Βιβλιοθήκη του Ναυτικού, όπου εξεδόθησαν: α) Για τους μαθητές των Μέσων Ναυτικών Σχολών 30 τόμοι βιβλίων (1967 - 1979). β) Για τις ΑΔΣΕΝ (Ανώτερες Δημόσιες Σχολές Εμπορικού Ναυτικού) 54 τόμοι (1981 - 2001).

Κύριος σκοπός των εκδόσεων αυτών, των οποίων το περιεχόμενο είναι σύμφωνο με τα εκάστοτε ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα του ΥΕΝ, ήταν η παροχή προς τους σπουδαστές των Ναυτικών Σχολών ΑΔΣΕΝ και Ναυτικών Λυκείων των αναγκαίων τότε εκπαιδευτικών κειμένων, τα οποία αντιστοιχούν προς τα μαθήματα που διδάσκονται στις Σχολές αυτές.

Επίσης ελήφθη ιδιαίτερη πρόνοια, ώστε τα βιβλία αυτά να είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν το επάγγελμα ή εξελίσσονται στην ιεραρχία του κλάδου τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι επέρχεται μεταβολή στη στάθμη του περιεχομένου τους.

Με την υπ. αρ. 1168Β΄/14.6.99 υπουργική απόφαση το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας ανέθεσε στο Ίδρυμα Ευγενίδου την συγγραφή και έκδοση των διδακτικών εγχειριδίων των Ναυτικών Ακαδημιών· ήδη η επιτροπή εκδόσεων του Ιδρύματος, στην οποία μετέχει, όπως πάντα, και ο διευθυντής Ναυτικής Εκπαιδεύσεως του ΥΕΝ, προεκήρυξε συμφώνως προς απόφαση του ΥΕΝ την συγγραφή 15 βιβλίων προς κάλυψη επειγουσών αναγκών των σπουδαστών βάσει των ισχυόντων αναλυτικών προγραμμάτων. Τα βιβλία αυτά έχουν συγγραφεί ήδη και ευρίσκονται στο στάδιο της εκδόσεως.

Οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος εξακολουθούν να καταβάλλουν κάθε προσπάθεια, ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις δυνατότητες των σπουδαστών. Γι' αυτό έχουν προσεγμένη γλωσσική διατύπωση των κειμένων τους και η διαπραγμάτευση των θεμάτων είναι ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαιδεύσεως, για την οποία προορίζονται.

Με την προσφορά στους καθηγητές, στους σπουδαστές της ναυτικής μας εκπαιδεύσεως και σε όλους τους αξιωματικούς του Ε.Ν. των εκδόσεών του, το Ίδρυμα συμβάλλει στην πραγματοποίηση του σκοπού του ιδρυτή του Ευγενίου Ευγενίδου.

Ι Δ Ρ Υ Μ Α   Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ

Β Ι Β Λ Ι Ο Θ Η Κ Η   Τ Ο Υ   Ν Α Υ Τ Ι Κ Ο Υ

ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ

ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ

ΚΛΙΑΝΗ Χ. ΛΑΖΑΡΟΥ

Καθηγητή Εφαρμογών ΤΕΙ Αθηνών

ΝΙΚΟΛΟΥ Κ. ΙΩΑΝΝΗ

Δρ. Μηχανολόγου - Μηχανικού

ΣΙΔΕΡΗ Α. ΙΩΑΝΝΗ

Καθηγητή Εφαρμογών ΤΕΙ Αθηνών

Μηχανικού Ε.Ν.

ΑΘΗΝΑ

2002

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

Ο πρώτος αυτός τόμος του βιβλίου «Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως» απευθύνεται στους σπουδαστές των Ναυτικών Ακαδημιών και έχει γραφεί σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα διδασκαλίας. Θα ακολουθήσει ο δεύτερος τόμος με τον οποίο ολοκληρώνεται η προβλεπόμενη ύλη του μαθήματος. Ο διατιθέμενος χρόνος διδασκαλίας του μαθήματος περιόρισε την έκταση της αναπτύξεως ορισμένων θεμάτων. Γι' αυτό στο τέλος του τόμου περιλαμβάνονται παραρτήματα, που περιέχουν ειδικά θέματα, απαραίτητα για την πληρότητα του βιβλίου, χωρίς όμως να είναι υποχρεωτική η διδασκαλία τους.

Η επιλογή της ύλης και η βαρύτητα που δόθηκε στην ανάπτυξη ορισμένων αντικειμένων έγινε με κριτήριο τη βαθύτερη κατανόηση από τους σπουδαστές των αρχών κατασκευής και λειτουργίας των ναυτικών πετρελαιομηχανών. Επειδή η πρακτική γνώση χωρίς θεωρητικό υπόβαθρο πολλές φορές αποδεικνύεται κενή, δόθηκε αρκετή βαρύτητα σε θεωρητικά θέματα. Καταβλήθηκε επίσης προσπάθεια, ώστε τα θέματα που αναπτύσσονται στο βιβλίο, να υποστηρίζονται με επαρκή αριθμό σχημάτων, διαγραμμάτων και πινάκων, για να είναι ευκολότερη η αφομοίωση και εμπέδωση της ύλης. Χωρίς να παραλείπομε την αναφορά στις παλαιότερες εγκαταστάσεις εμβολοφόρων ΜΕΚ, δόθηκε μεγαλύτερο βάρος στα σύγχρονα συστήματα και τεχνολογίες, με τα οποία θα έρθουν σε επαφή οι σπουδαστές των Ναυτικών Ακαδημιών στη μελλοντική τους σταδιοδρομία.

Ευελπιστούμε ότι το βιβλίο αυτό θα αποτελέσει γι' αυτούς σημαντικό βοήθημα, αλλά και βάση επάνω στην οποία θα στηρίξουν τις γνώσεις και τις εμπειρίες, που θα αποκτήσουν στη διάρκεια της σταδιοδρομίας τους, ως αξιωματικοί του Εμπορικού Ναυτικού.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσομε το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας και το Ίδρυμα Ευγενίδου, που μας επέλεξαν μετά την προκήρυξη του σχετικού διαγωνισμού για την συγγραφή του παρόντος βιβλίου. Ευχαριστούμε τους συνεργάτες του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για τις ιδιαίτερα φιλότιμες προσπάθειες που κατέβαλαν για την πληρέστερη παρουσίαση των κειμένων και εικόνων του βιβλίου. Επίσης ευχαριστούμε τον κ. Βουβαλίδη, για τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά την αξιολόγηση του κειμένου.

Ευχαριστούμε θερμά τις εταιρείες MAN B&W, WARTSILA NSD, ROBERT BOSCH, ABB, MTU, YANMAR, DAIHATSU DIESEL, CASTROL, ALFA LAVAL, EXXON, SUZUKI MARINE, HONDA MARINE, VOLVO PENTA, MERCURY, καθώς και τις ελληνικές αντιπροσωπείες τους, για την άμεση ανταπόκριση στο αίτημά μας για αποστολή πληροφοριακού υλικού και την αμέριστη βοήθειά τους στην ανάπτυξη ειδικών θεμά-

των. Ευχαριστούμε την εταιρεία ANEK LINES για το πληροφοριακό υλικό που μας παραχώρησε και την άδεια φωτογραφήσεως του μηχανοστασίου του πλοίου Olympic Champion.

Ζητούμε την κατανόηση των αναγνωστών για τυχόν λάθη και παραλείψεις. Θα είναι ιδιαίτερα ευπρόσδεκτες τυχόν παρατηρήσεις και σχόλια, τα οποία θα βοηθήσουν στην αρτιότερη παρουσίαση του θέματος σε επόμενη έκδοση.

Οι συγγραφείς

Εισαγωγή



0.1 Ιστορική εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ).

Η παραγωγή έργου με τη χρήση μιας θερμικής μηχανής βασίζεται στην πρόσδοση θερμότητας (υπό συγκεκριμένες συνθήκες) στο εργαζόμενο μέσο, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ενεργειακής του καταστάσεως. Ένα τμήμα αυτής της ενέργειας μπορεί να αποδοθεί ως μηχανικό έργο, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται ξανά ως θερμότητα στο περιβάλλον.

Η πρόσδοση της θερμότητας μπορεί να γίνεται είτε εντός του κύριου τμήματος της μηχανής είτε σε ένα ανεξάρτητο τμήμα της. Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως διακρίνονται από τις αντίστοιχες εξωτερικής καύσεως από αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό, ότι δηλαδή η καύση για την παραγωγή της αναγκαίας θερμότητας πραγματοποιείται εντός της μηχανής, ενώ το εργαζόμενο μέσο που εκτονώνεται εντός κυλίνδρου για την παραγωγή του έργου είναι το καυσαέριο.

Αντίθετα, στις μηχανές εξωτερικής καύσεως η θερμότητα προσδίδεται στο εργαζόμενο μέσο σε ανεξάρτητη συσκευή της μηχανής, ενώ τα καυσαέρια δεν έρχονται σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο. Ως παράδειγμα μηχανής εξωτερικής καύσεως μπορεί να αναφερθεί η ατμομηχανή, όπου η παραγόμενη από την καύση θερμότητα εντός του λέβητα μετατρέπει το νερό (εργαζόμενο μέσο) σε ατμό, το οποίο με τη σειρά του οδηγείται σε κύλινδρο (το κύριο τμήμα της μηχανής). Η μετακίνηση ενός εμβόλου κατά την εκτόνωση του ατμού εντός του κυλίνδρου παράγει το ωφέλιμο έργο της μηχανής.

Στο τέλος του 19ου αιώνα, όταν οι ατμομηχανές είχαν ουσιαστικά εξαντλήσει τη δυναμική τους, η πιεστική ανάγκη για συνεχώς ισχυρότερους, απλούστερους, μικρότερους και αποδοτικότερους κινητήρες οδήγησε την έρευνα προς την ανάπτυξη εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσεως. Είχε προηγηθεί η πρόταση του Άγγλου ***Robert Street*** το 1794 για χρησιμοποίηση της πιέσεως των καυσαερίων από την καύση υγρών καυσίμων, στη μετακίνηση εμβόλου και την παραγωγή έργου. Το 1833 ο Άγγλος ***W.L. Wright*** κατασκεύασε την πρώτη δίχρονη μηχανή εσωτερικής καύσεως, ενώ το 1860 ο ***J.J. Etienne Lenoir*** από το Λουξεμβούργο συναρμολόγησε την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσεως βιομηχανικής παραγωγής χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το φωταέριο. Ο Γερμανός ***N.A. Otto***, πειραματίσθηκε με τη μηχανή του Lenoir και κατασκεύασε τον πρώτο βενζινοκινητήρα το 1876. Οι αρχές λειτουργίας του κινητήρα του Δρ. Otto αποτέλεσαν τις βάσεις, πάνω στις οποίες λειτουργούν ακόμη και σήμερα οι βενζινοκινητήρες.

Με την καθιέρωση του κινητήρα του Otto, οι έρευνες στράφηκαν προς στην ανεύρεση αποτελεσματικών μεθόδων αναφλέξεως του μείγματος καυσίμου-αέρα. Μία από τις μεθόδους που δοκιμάστηκαν, ήταν η εφαρμογή μεγάλης συμπιέσεως του αέρα μέσα στον κύλινδρο, προκειμένου να επιτευχθεί πολύ υψηλή θερμοκρασία. Το καύσιμο στη συνέχεια ψεκαζόταν μέσα στον κύλινδρο, όπου, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα, ξεκινούσε αυτοδύναμα η καύση. Η εκτόνωση των αερίων μπορούσε να απελευθερώσει πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Ο τύπος αυτός των κινητήρων χαρακτηρίζεται ως ***κινητήρας συμπιέσεως – αναφλέξεως***.

Οι υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που αναπτύσσονταν κατά τη λειτουργία των μηχανών αυτών, είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων όσον αφορά στην αντοχή των υλικών κατασκευής τους. Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα των παραπάνω κινητήρων συνδεόταν με τη δυσκολία ψεκασμού του καυσίμου στον κύλινδρο, όπου επικρατούσε υψηλή πίεση λόγω της μεγάλης συμπιέσεως του αέρα.

Μεγάλη αύξηση της αξιοπιστίας των κινητήρων συμπιέσεως – αναφλέξεως πέτυχε ο Γερμανός μηχανικός ***Rudolph Diesel*** (σχ. 0.1α). Αρχικά, προσπάθησε να λειτουργήσει τους παραπάνω κινητήρες χρησιμοποιώντας κονιορτοποιημένο γαιάνθρακα ως καύσιμο, οι κινητήρες ωστόσο, καταστρεφόταν με έκρηξη.

Το 1894, πέτυχε τη λειτουργία τους χρησιμοποιώντας υγρό καύσιμο (πετρέλαιο). Με αυτόν τον τρόπο κατέστησε τον κινητήρα πιο οικονομικό και περισσότερο αποδοτικό σε σχέση με τους υπόλοιπους κινητήρες εκείνης της εποχής (σχ. 0.1β). Το 1895, ο Diesel κατοχύρωσε την ευρεσιτεχνία του στις Η.Π.Α.

Μέχρι το 1900 οι πετρελαιοκινητήρες είχαν διαδοθεί ευρύτατα στην Ευρώπη. Ογκώδεις και με μεγάλο βάρος οι πετρελαιοκινητήρες της εποχής, είχαν εφαρμογή μόνο ως κινητήρες σταθερής βάσεως, όπως οι εικονιζόμενοι στο σχήμα 0.1γ.

Το 1903, ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας τοποθετήθηκε σε πλοίο (το ρωσικό Wandal) και το 1925 σε λεωφορείο. Το 1929, κυκλοφόρησε το πρώτο πετρελαιοκίνητο φορτηγό-αυτοκίνητο. Οι κινητήρες αυτοί ήταν πολύ μεγάλοι σε μέγεθος και είχαν πολύ μεγάλο βάρος, για να τοποθετηθούν σε μικρά επιβατικά, αν και η Peugeot προσπάθησε να κατασκευάσει το 1922 ένα πετρελαιοκίνητο επιβατικό αυτοκίνητο.

Το 1927, η εταιρεία Robert Bosch άρχισε να κατασκευάζει εξαρτήματα και μηχανισμούς ψεκασμού για τους πετρελαιοκινητήρες. Η Bosch μπορούσε να παράγει μαζικά εξοπλισμό συστημάτων ψεκασμού και μάλιστα για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Επιπλέον, η εταιρεία αυτή απέκτησε την άδεια κατασκευής εξαρτημάτων πετρελαιοκινητήρων σε άλλες χώρες, με αποτέλεσμα οι κινητήρες αυτοί να καταστούν πολύ δημοφιλείς και να επικρατήσουν διεθνώς.

Το 1936, η Mercedes - Benz ξεκίνησε την παραγωγή ενός μικρού σχετικά, για τα τότε δεδομένα, επιβατικού πετρελαιοκίνητου οχήματος. Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η βενζίνη ήταν πολύ ακριβή σε όλες τις χώρες εκτός από τις Η.Π.Α., με αποτέλεσμα η Ευρώπη και η Ιαπωνία να οδηγηθούν στην κατασκευή μικρών πετρελαιοκινητήρων για χρήση σε επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά. Οι Η.Π.Α. αντίστοιχα προηγήθηκαν στην ανάπτυξη κινητήρων καταλλήλων για μεγάλα φορτηγά.

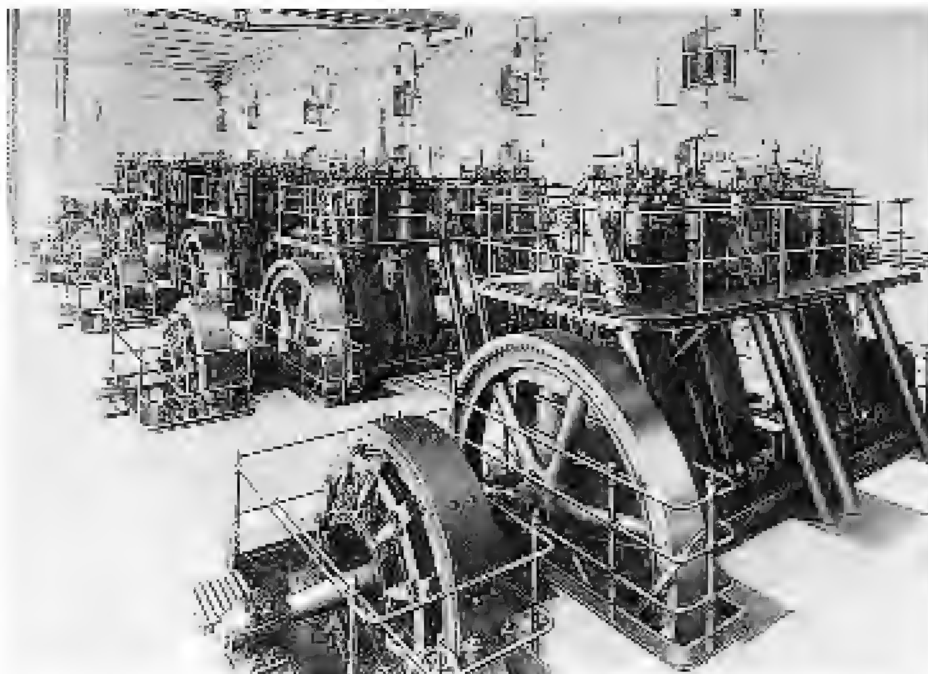
Το εμπάργκο του πετρελαίου από τα αραβικά κράτη το 1973, αύξησε δραματικά τις τιμές του πε-



Σχ. 0.1α.
Rudolph Diesel.



Σχ. 0.1β.
Ο πρώτος κινητήρας που σχεδιάστηκε από τον Γερμανό μηχανικό Rudolph Diesel το 1895.



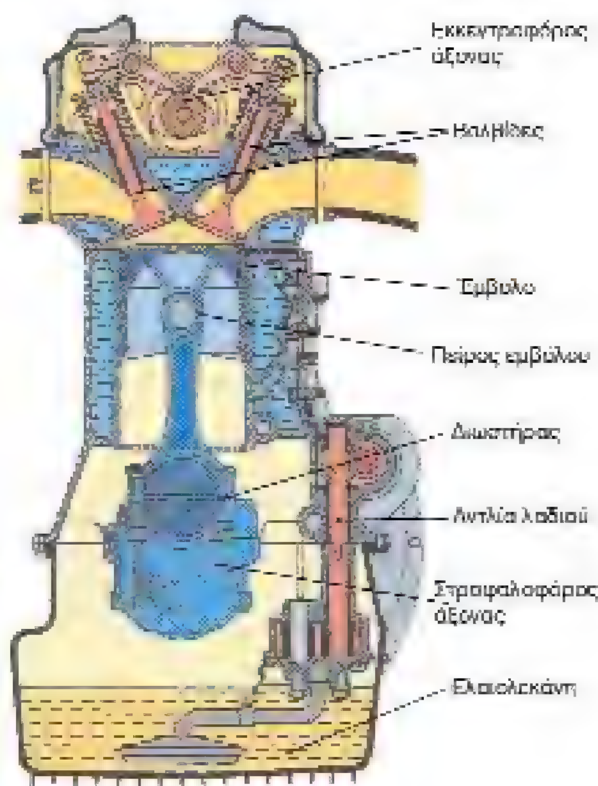
Σχ. 0.1γ.
Ο πρώτος μεγάλος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (1904), εξοπλισμένος με κινητήρες Diesel της MAN (έξι ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη με τετρακύλινδρες, τετράχρονες πετρελαιομηχανές ισχύος 400 hp η κάθε μία στις 160 rpm).

τρελαίου, καθιστώντας την οικονομία καυσίμου το σημαντικότερο παράγοντα στη σχεδίαση νέων κινητήρων.

Στο τέλος της δεκαετίας του 1970 μεγάλος αριθμός κατασκευαστών πρόσφερε τα ίδια μοντέλα βενζινοκινήτων επιβατηγών αυτοκινήτων και ελαφρών φορτηγών εφοδιασμένα και με πετρελαιοκινητήρες (σχ. 0.1δ).

Η τιμή της βενζίνης μειώθηκε σημαντικά στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Το γεγονός αυτό σε συνάρτηση με το επιπλέον κόστος κατασκευής και το μεγαλύτερο βάρος του πετρελαιοκινητήρα, οδήγησε τους κατασκευαστές να περιορίσουν τη χρήση του στα επιβατικά αυτοκίνητα. Ο πετρελαιοκινητήρας χρησιμοποιούταν κυρίως στα μικρά και ελαφρά φορτηγά, στα μεσαίας και βαριάς κατηγορίας οχήματα καθώς και σε όλα σχεδόν τα γεωργικά και χωματουργικά μηχανήματα.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 παρατηρείται ραγδαία εισαγωγή ηλεκτρονικής τεχνολογίας για να επιτευχθεί ο συνεχής έλεγχος της καύσεως μέσω ειδικών αισθητήρων στα καυσαέρια. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα, για να αναπτυχθούν κινητήρες Otto και Diesel πτωχού μείγματος, οι οποίοι διακρίνονται για την υψηλή οικονομία τους και τη χαμηλή εκπομπή ρύπων που επιτυγχάνουν.



Σχ. 0.1δ.
Σύγχρονος κινητήρας οχημάτων εσωτερικής καύσεως σε τομή (δεκαετία 1990).

Η ανακάλυψη του κινητήρα Diesel ήταν καθοριστική για την ανάπτυξη της ναυτιλίας. Το πρώτο μεγάλο πλοίο με εγκατάσταση κινητήρα Diesel ήταν το Romagna 678 τόνων, που ναυπηγήθηκε το 1910 στα ναυπηγεία Cantieri Navali Riuniti, διαθέτοντας δύο τετρακύλινδρους κινητήρες Sultzer των 280 kW έκαστος, με διάμετρο εμβόλου 310 mm, διαδρομή 460 mm και ταχύτητα περιστροφής 250 στροφές/ λεπτό.

Η πρώτη εγκατάσταση πετρελαιοκινητήρα σε ωκεανοπόρο εμπορικό πλοίο πραγματοποιήθηκε το 1912 από την εταιρεία ***Burmeister & Wain*** στο πλοίο ***Selandia***, το οποίο πραγματοποίησε στη συνέχεια ταξίδι 20.000 ναυτικών μιλίων από την Κοπεγχάγη στην Άπω Ανατολή. Όπως φαίνεται στο σχήμα 0.1ε(α) η μηχανή αυτή είχε μεγάλες διαστάσεις. Η επιτυχία του κινητήρα ήταν τόσο μεγάλη, ώστε μέχρι το 1920 είχαν κατασκευασθεί 16 παρόμοια πλοία από το ίδιο ναυπηγείο.

Με την πάροδο του χρόνου οι κατασκευαστές μείωσαν τον όγκο και τις διαστάσεις των ναυτικών μηχανών βελτιώνοντας ταυτόχρονα και την απόδοσή τους. Μια σύγχρονη ναυτική μηχανή εικονίζεται στο σχήμα 0.1ε(β) όπου αναγράφονται και τα χαρακτηριστικά της.

Το 1914 υπήρχαν λιγότερα από 300 ντηζελοκίνητα πλοία, συνολικού τονάζ 235.000 τόνων, ενώ μία δεκαετία αργότερα αυξήθηκαν στα 2000 πλοία συνολικού τονάζ 2 εκατομμυρίων τόνων. Μέχρι το 1940 αυξήθηκαν στα 8000 πλοία 18 εκ. τόνων. Μεταξύ των δύο παγκοσμίων πολέμων το ποσοστό των ντηζελοκινήτων πλοίων αυξήθηκε από το 1,3% στο 25% του συνολικού τονάζ.

Το πρώτο επιβατηγό πλοίο με κινητήρες Diesel στη γραμμή του Ατλαντικού ήταν το Gripsholm, το οποίο παραδόθηκε το 1925. Την ισχύ των 9930 kW παρείχαν δύο εξακύλινδροι τετράχρονοι κινητήρες B&W.

Μεγάλη ώθηση στην κατασκευή μικροτέρων κινητήρων με μεγαλύτερη ισχύ έδωσε η υιοθέτηση της υπερπληρώσεως. Η υπερπλήρωση άρχισε να εφαρμόζεται από τη δεκαετία του '20 στις τετράχρονες μηχανές, για την αποτελεσματικότερη απόπλυση των κυλίνδρων, με χρήση όμως μηχανικών συμπιεστών. Η πρώτη ευρεσιτεχνία (πατέντα) στροβιλοϋπερπληρωτή κατατέθηκε από τον Buchi το 1905, χρειάστηκαν όμως 50 χρόνια, για να μπορέσει το σύστημα αυτό να βρει την πλήρη εφαρμογή του σε μεγάλες δίχρονες ναυτικές μηχανές. Η πρώτη ναυτική μηχανή με χρήση στροβιλοϋπερπληρωτή κατασκευάστηκε το 1927 από τη MAN, διαθέτοντας σύστημα υπερπληρώσεως σταθερής πιέσεως της Brown Boveri. Το σύ-

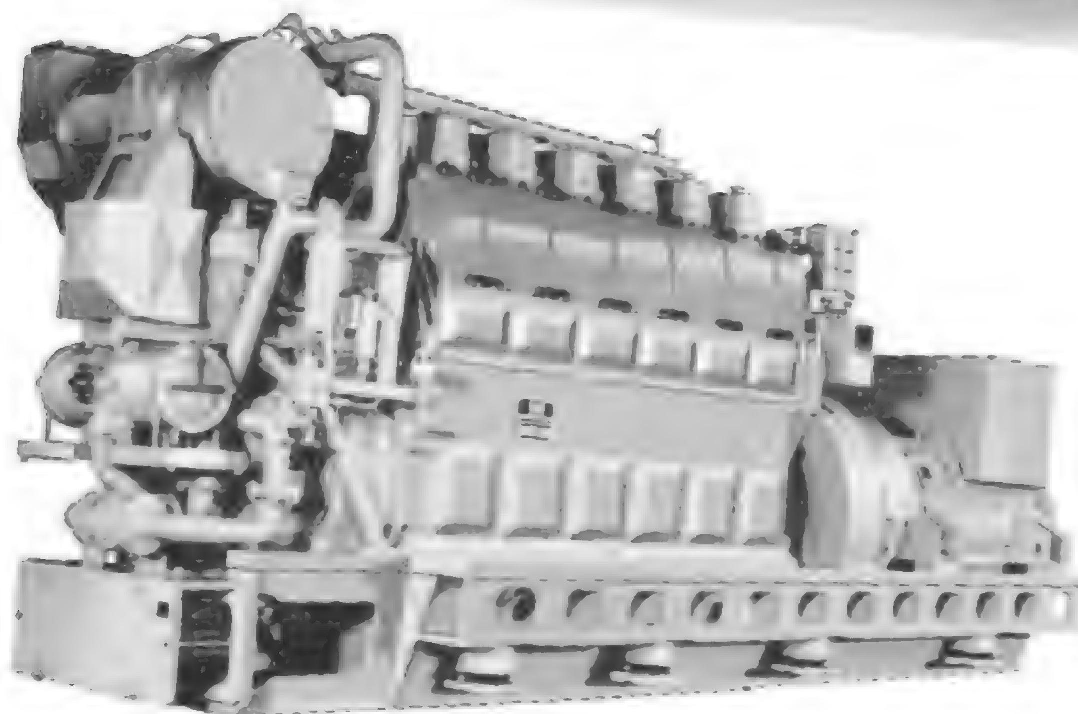


Το πλοίο Selandia.

(α)



(β)



Σχ. 0.1ε.

α) Ένας από τους δύο τετράχρονους οκτακύλινδρους κινητήρες DE-8150-X, ισχύος 1125 hp, ύψους 6,1 m περίπου, πλάτους 8,50 m περίπου και μήκους περίπου 10 m, κατασκευής B&W, του πλοίου Selandia ναυπηγήσεως του 1912. β) Σύγχρονη εξακύλινδρη υπερπληρούμενη τετράχρονη πετρελαιομηχανή της ίδιας εταιρείας, ισχύος 1280 hp στις 900 rpm έχει μήκος μόλις 3,75 m και ύψος μόλις 2,8 m. Παρατηρούμε ότι το μήκος της είναι περίπου το μισό και το ύψος της σχεδόν το 1/3 της κάθε μηχανής του Selandia.

στημα αυτό αύξησε την ισχύ της μηχανής από 1250 kW στις 240 στροφές/ λεπτό στα 1765 kW στις 275 στροφές/ λεπτό και στη συνέχεια στα 2960 kW στις 317 στροφές/ λεπτό.

Σημαντική εξέλιξη στις ναυτικές μηχανές αποτέλεσε η χρήση βαρέος πετρελαίου από τα μέσα της δεκαετίας του 1950. Χρησιμοποιήθηκαν μάλιστα κατάλληλα λιπαντικά, τα οποία ουδετεροποιούσαν τα όξινα παράγωγα της καύσεως του βαρέος πετρελαίου και επέτρεψαν τη μείωση της φθοράς του κινητήρα από τη χρήση των συγκεκριμένων καυσίμων σε επίπεδα αντίστοιχα με εκείνα του καθαρού Diesel.

Η ραγδαία ανάπτυξη των ναυτικών μηχανών τα τελευταία χρόνια έστρεψε το ενδιαφέρον στην κατασκευή αργοστρόφων μηχανών μεγάλης διαμέτρου εμβόλου, μεγαλύτερου βαθμού συμπιέσεως, εφοδιασμένων με στροβιλοϋπερπληρωτές υψηλής πιέσεως και υψηλού βαθμού αποδόσεως. Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως των μηχανών αυτών υπερβαίνει πλέον το 54%, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε ο βαθμός αποδόσεως των ελίκων με τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής τους, φτάνοντας μέχρι και τις 55 στροφές/ λεπτό.

Η μελλοντική έρευνα στρέφεται προς τη βελτίωση της καύσεως των βαρέων καυσίμων, στη μείωση των εκπομπών ρύπων και στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Παραμένει επίσης αυξημένο το ερευνητικό ενδιαφέρον για τη βελτίωση του βαθμού αποδόσεως, την αύξηση της αξιοπιστίας με αντίστοιχη μείωση των αναγκών συντηρήσεως και του κόστους λειτουργίας και τέλος την επέκταση του ηλεκτρονικού ελέγχου λειτουργίας του κινητήρα με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη και απροβλημάτιστη λειτουργία του.

Στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια του Μεσοπολέμου ιδρύθηκαν αρκετά μηχανουργεία τα οποία ειδικεύονταν στην κατασκευή μηχανών και ιδιαίτερα πετρελαιομηχανών εσωτερικής καύσεως. Οι παραγόμενοι κινητήρες διοχετεύονταν στην εσωτερική αγορά, στα Βαλκάνια, στην Τουρκία και στην Κύπρο. Οι κινητήρες αυτοί ήταν κατάλληλοι για χρήση στα μικρά ξύλινα σκάφη της εποχής και για γεωργικές χρήσεις (σχ. 0.1στ, 0.1ζ). Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο επήλθε η συρρίκνωση του κλάδου. Τα χρέη που δημιουργήθηκαν εξαιτίας του πολέμου, ο εξηλεκτρισμός της ελληνικής βιομηχανίας, καθώς και οι νέες συνθήκες του διεθνούς εμπορίου υπήρξαν μερικές από τις αιτίες που οδήγησαν στη διακοπή της λειτουργίας των βιοτεχνιών αυτών. Όσες από αυτές τις βιοτεχνίες κατάφεραν να επιβιώσουν, προσανατολίστηκαν στις μεταλλικές κατασκευές.

Οι εμβολοφόρες παλινδρομικές μηχανές πάσχουν από εγγενή προβλήματα ταλαντώσεων, τα οποία οι ειδικοί προσπάθησαν κατά καιρούς να παρακάμψουν με τη σχεδίαση περιστροφικών και όχι παλινδρομικών μηχανών. Το πιο πετυχημένο σχέδιο περιστροφικού εμβολοφόρου κινητήρα παρουσιάστηκε το 1954 από τον Felix Wankel. Στον ομώνυμο κινητήρα το έμβολο έχει μορφή καμπυλωμένου τριγωνικού πρίσματος, το οποίο φέρει εσωτερικά οδόντωση, η οποία συμπλέκεται έκκεντρα με αντίστοιχο μικρότερο οδοντωτό τροχό, προσαρμοσμένο σταθερά στο σώμα του κινητήρα. Το έμβολο περιστρέφεται εντός ελλειψοειδούς θαλάμου, μεταξύ του οποίου και του εμβόλου (στα τρία διάκενα που σχηματίζονται) πραγματοποιούνται οι διαδοχικές φάσεις λειτουργίας των ΜΕΚ (εισαγωγή, συμπίεση, καύση – εκτόνωση, εξαγωγή). Έτσι στο συγκεκριμένο όγκο εκτελούνται ταυτόχρονα (σε διαφορετική φάση) τρεις ανεξάρτητοι κύκλοι λει-



Σχ. 0.1στ.
Ναυτικός πετρελαιοκινητήρας ελληνικής κατασκευής του μεσοπολέμου.



Σχ. 0.1ζ.
Κινητήρας συγκροτήματος αντλίας ελληνικής κατασκευής του μεσοπολέμου.

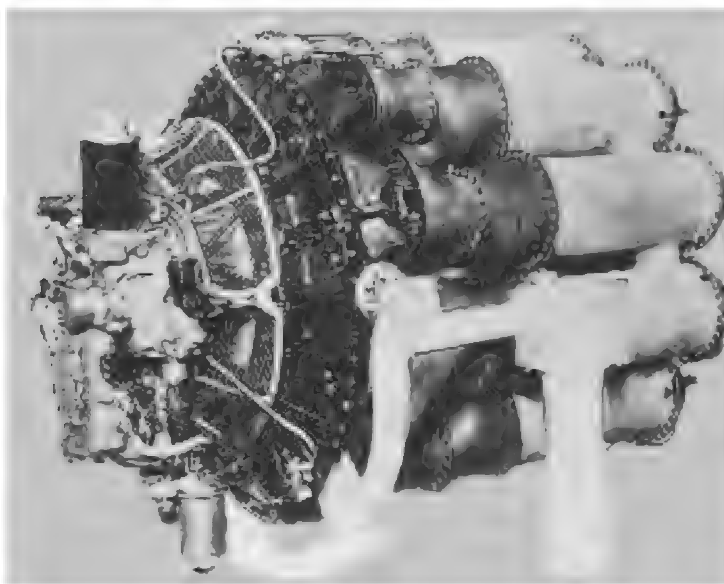
τουργίας, με αποτέλεσμα την πολύ συμπαγή κατασκευή των κινητήρων (μικρός κυβισμός και όγκος με μεγάλη παραγόμενη ισχύ). Επειδή δεν υπάρχουν παλινδρομούσες μάζες απουσιάζουν τα προβλήματα ταλαντώσεων. Οι κινητήρες αυτοί δεν έχουν συναντήσει ωστόσο, μεγάλη εφαρμογή λόγω ανυπερβλήτων προβλημάτων στεγανοποιήσεως των θαλάμων, μη βέλτιστου σχήματος του θαλάμου καύσεως, υψηλών ρύπων, υψηλής καταναλώσεως και υψηλού κόστους κατασκευής και συντηρήσεως. Οι κινητήρες Wankel δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καύση πετρελαίου, εξαιτίας του μικρού βαθμού συμπιέσεως που μπορούν να πετύχουν. Βρίσκουν εφαρμογή σε λίγους τύπους ειδικών αυτοκινήτων και στην πρόωση μικρών ελικοφόρων αεροσκαφών.

Στις μηχανές εσωτερικής καύσεως, εκτός των εμβολοφόρων παλινδρομικών και περιστροφικών ανήκουν και οι αεριοστρόβιλοι. Η κατασκευή και οι αρχές λειτουργίας τους διαφέρουν σημαντικά από αυτές των εμβολοφόρων ΜΕΚ και θα αναπτυχθούν σε ειδικά κεφάλαια.

Οι αεριοστρόβιλοι αναπτύχθηκαν αρκετά αργότερα από τις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως. Αν και υπήρχε αρκετή εμπειρία στην κατασκευή τόσο αεροσυμπιεστών όσο και στροβίλων (ατμοστροβίλων), ο συνδυασμός τους στην κατασκευή του αεριοστροβίλου προσέκρουε στην ελλιπή γνώση των χαρακτηριστικών της ροής, στους χαμηλούς βαθμούς αποδόσεως των συμπιεστών της εποχής και στην έλλειψη καταλλήλων μετάλλων που να αντέχουν τις υψηλές θερμικές και δυναμικές καταπονήσεις κατά τη λειτουργία των στροβίλων καυσαερίων. Το 1930 ο Frank Whittle από τη Μεγάλη Βρετανία κατέθεσε την πρώτη ευρεσιτεχνία για τη χρησιμοποίηση αεριοστροβίλου στην πρόωση αεροσκαφών. Χρειάστηκε όμως να περάσουν έντεκα χρόνια, μέχρι το πρώτο αεροσκάφος προωθούμενο με αεριοστρόβιλο να εκτελέσει την παρθενική του πτήση. Ο κινητήρας του Whittle χρησιμοποιούσε ακτινικό συμπιεστή και αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία των πρώτων αεριοστροβίλων για πρόωση αεροσκαφών (σχ. 0.1η). Παράλληλα στη Γερμανία αναπτύχθηκε αντίστοιχος κινητήρας με τη χρήση όμως αξονικού συμπιεστή.

Μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, οι αεριοστρόβιλοι εκτόπισαν σχεδόν ολοκληρωτικά τις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως στην αεροπορική βιομηχανία (πολιτική και στρατιωτική), λόγω της μεγάλης ισχύος τους, του μικρού βάρους, της μικρής μετωπικής επιφάνειάς τους και της δυνατότητας επιτεύξεως υψηλών ταχυτήτων πτήσεως.

Σήμερα οι αεριοστρόβιλοι, εκτός των αεροπορικών εφαρμογών τους, χρησιμοποιούνται επίσης ως κινητήριες μηχανές (κυρίως πολεμικών) πλοίων, σε συνδυασμό με ηλεκτρογεννήτριες σε ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πλοίων και σε μεγάλες επίγειες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (με τη χρήση φυσικού αερίου ή υγρών καυσίμων).



Σχ. 0.1η.
Φωτογραφία του πρώτου αεριοστροβίλου του Frank Whittle που εντάχθηκε σε βιομηχανική παραγωγή.

Κεφάλαιο Πρώτο



ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

1.1 Γενικά.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ) (Internal Combustion Engines) διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

– *Στις εμβολοφόρες παλινδρομικές,*
– *στις περιστροφικές* και
– *στους αεριοστρόβιλους (gas turbines).*

Οι εμβολοφόρες παλινδρομικές ΜΕΚ κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. ***Ανάλογα με τον τρόπο εναύσεως (αναφλέξεως) του καυσίμου*** διακρίνονται σε:

α) Μηχανές εναύσεως με σπινθήρα (ή βενζινομηχανές, ή κινητήρες Otto - spark ignition engines).

β) Μηχανές εναύσεως με συμπίεση (ή πετρελαιομηχανές, ή κινητήρες Diesel - compression ignition engines).

γ) Μηχανές Semi-Diesel.

2. ***Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών του εμβόλου*** για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας διακρίνονται σε τετράχρονες (four-stroke engines) και σε δίχρονες μηχανές (two-stroke engines).

3. ***Ανάλογα με το είδος του καυσίμου*** κατατάσσονται σε:

α) Μηχανές βαρέος πετρελαίου (μαζούτ).

β) Μηχανές ελαφρών καυσίμων (πετρέλαιο ντήζελ - βενζίνη).

γ) Μηχανές αερίων καυσίμων.

4. ***Ανάλογα με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα*** διαικρίνονται σε μηχανές ***αργόστροφες*** με ταχύτητα περιστροφής έως 350 rpm περίπου (κύριες μηχανές πλοίων), ***μεσόστροφες*** με ταχύτητα περιστροφής έως 1500 rpm περίπου (μηχανές πλοίων, τρένων και ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη), ***πολύστροφες*** με ταχύτητα περιστροφής μέχρι 5000 rpm περίπου (μηχανές τροχοφόρων) και ***ταχύστροφες*** με ταχύτητα περιστροφής άνω των 5000 rpm (αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας, αγωνιστικά αυτοκίνητα, δίτροχα μεγάλου κυβισμού).

5. ***Ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων*** διακρίνονται σε μονοκύλινδρες και σε πολυκύλινδρες μηχανές.

6. ***Ανάλογα με τη διάταξη των κυλίνδρων*** κατατάσσονται σε κατακόρυφες ή εν σειρά, τύπου (V), (W), (Δ), (H), (X), αντιτιθεμένων κυλίνδρων (οριζόντιες-boxer), σταυροειδείς, αστεροειδείς, πολυγωνικές, διπλών εμβόλων κ.λ.π.

7. ***Ανάλογα με τον τρόπο ψύξεως των κυλίνδρων*** κατατάσσονται σε υδρόψυκτες και σε αερόψυκτες μηχανές.

8. ***Ανάλογα με τον τρόπο συνδέσεως του εμβόλου και του διωστήρα*** κατατάσσονται σε μηχανές με ή χωρίς βάκτρο και ζύγωμα.

9. ***Ανάλογα με τον τρόπο, την πίεση, αλλά και την ποσότητα του αέρα*** που εισάγεται στον κύλινδρο, κατατάσσονται σε υπερπληρούμενες (supercharged) και ατμοσφαιρικές μηχανές (φυσικής αναπνοής, atmospheric-induction engines).

10. ***Ανάλογα με τον τρόπο εγκαταστάσεως*** διακρίνονται σε μηχανές σταθερής ή μόνιμης βάσεως και σε μηχανές κινούμενου φορέα (κινητές ή φορητές).

11. ***Ανάλογα με τη χρήση τους*** κατατάσσονται σε μηχανές οχημάτων, ναυτικές μηχανές, βιομηχανικές (σταθερές), μηχανές αεροσκαφών κ.λ.π.

12. ***Ανάλογα με τη μέθοδο εισαγωγής του καυσίμου*** οι βενζινομηχανές κατατάσσονται σε μηχανές με εξαεριωτήρα (carburator) και σε μηχανές με αντλία εγχύσεως και εγχυτήρα (injection).

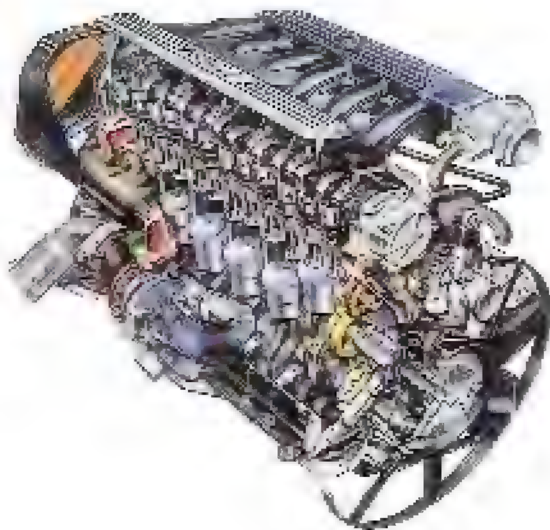
13. ***Ανάλογα με τη φορά περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα*** κατατάσσονται σε μηχανές ορισμένης φοράς περιστροφής (δεξιόστροφες ή αριστερόστροφες) και σε αναστρέψιμες μηχανές.

14. ***Ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ ανά κύλινδρο στις κανονικές στροφές λειτουργίας*** κατατάσσονται σε

μηχανές μικρής ισχύος (μέχρι 20 Ps), μέσης ισχύος (μέχρι 200 Ps) και μεγάλης ισχύος (άνω των 200 Ps).

15. ***Ανάλογα με τον τρόπο αποδόσεως της ισχύος*** κατατάσσονται σε μηχανές σταθερών στροφών (και μεταβλητού φορτίου) και σε μηχανές μεταβλητών στροφών.

16. ***Ανάλογα με το είδος του θαλάμου καύσεως*** διακρίνονται σε μηχανές με ενιαίο και σε μηχανές με διαιρούμενο θάλαμο καύσεως.



Σχ. 1.2α.
Τετράχρονος εξακύλινδρος πετρελαιοκινητήρας αυτοκινήτου σε τομή.

1.2 Χρήση των πετρελαιομηχανών.

Οι πετρελαιομηχανές ανάλογα με τη χρήση τους κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

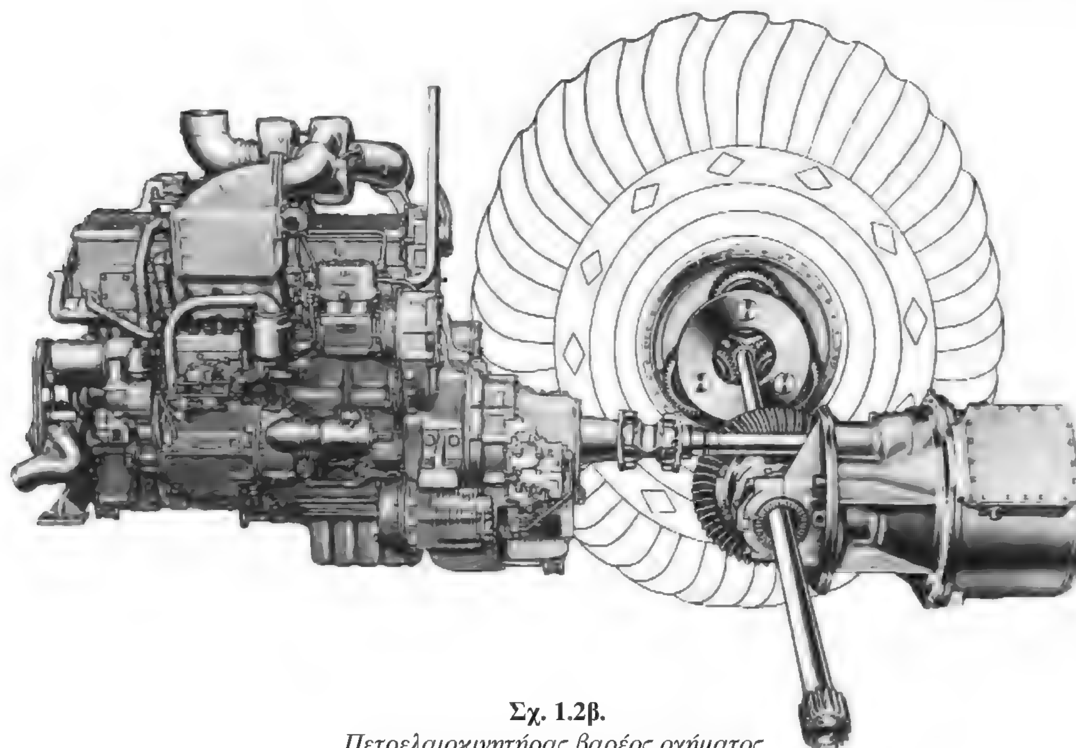
α) Μηχανές αυτοκινήτων.

Οι πετρελαιομηχανές έχουν επικρατήσει στα φορτηγά αυτοκίνητα και στα λεωφορεία, ενώ στα μικρά επιβατικά αυτοκίνητα (σχ. 1.2α) η χρήση τους είναι σχετικά περιορισμένη.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των πετρελαιομηχανών αυτοκινήτων, σε σύγκριση με τις πετρελαιομηχανές που χρησιμοποιούνται σε άλλους τομείς, είναι το μικρό βάρος ανά παραγόμενο ίππο, ο μεγάλος αριθμός στροφών ανά λεπτό (2200 - 5000 rpm), η λειτουργία τους χωρίς κραδασμούς, το γρήγορο ξεκίνημα στο κρύο περιβάλλον, η χρήση ειδικής ποιότητας καυσίμου (πετρέλαιο κινήσεως) και η σχεδίαση για όσο το δυνατόν μικρότερη εκπομπή ρύπων. Οι μηχανές αυτές σε συντριπτικό ποσοστό είναι υπερπληρούμενες.

β) Μηχανές βαρέων οχημάτων.

Χρησιμοποιούνται σε όλα τα χωματουργικά και γεωργικά μηχανήματα. Είναι μεγαλύτερης ισχύος, συνήθως υπερπληρούμενες, βαρύτερες, μεγαλύτερες, ιδιαίτερα στιβαρής κατασκευής (σχ. 1.2β) και πιο αργόστροφες από αυτές των αυτοκινήτων.



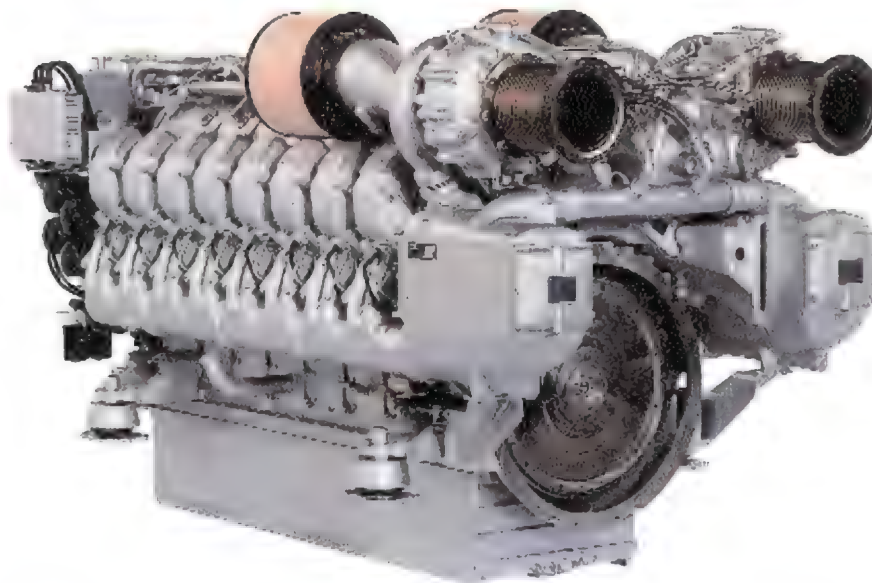
Σχ. 1.2β.
Πετρελαιοκινητήρας βαρέος οχήματος.

γ) Μηχανές τρένων.

Είναι μεσόστροφες σταθερού αριθμού στροφών και φοράς περιστροφής. Δεν κινούν απ' ευθείας τους τροχούς αλλά περιστρέφουν γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος). Η γεννήτρια κάθε μηχανής δίνει ρεύμα σε ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν τους κινητήριους τροχούς. Ο τρόπος αυτός μεταδόσεως της ισχύος στους τροχούς έχει πολλά πλεονεκτήματα. Δεν χρησιμοποιείται μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων, αυξομειώνονται εύκολα οι στροφές, ενώ επιτυγχάνεται μεγάλη ροπή και ισχύς έλξεως στο ξεκίνημα του συρμού (σχ. 1.2γ).

δ) Ναυτικές μηχανές.

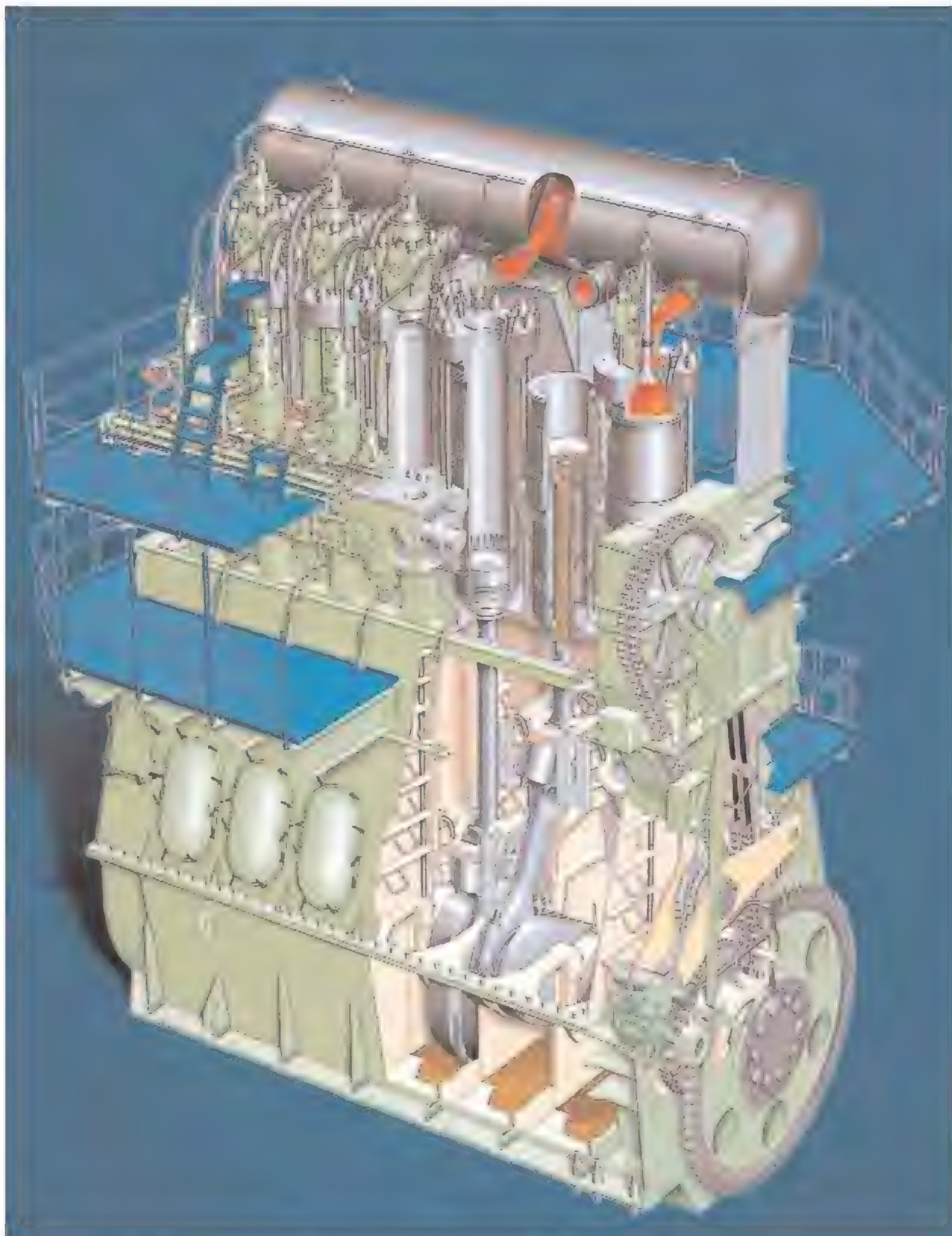
Χρησιμοποιούνται σε όλα τα θαλάσσια μέσα, από τα μικρά σκάφη μέχρι τα πολύ μεγάλης χωρητικότητας εμπορικά πλοία, στα πολεμικά πλοία και τα συμβατικά υποβρύχια. Μπορεί να είναι δίχρονες ή τετράχρονες διαφόρων τύπων, σχημάτων, μεγεθών και ισχύος. Σχεδόν στο σύνολό τους οι μηχανές αυτές είναι υπερπληρούμενες (σχ. 1.2δ, 1.2ε).



Σχ. 1.2γ.
Πετρελαιοκινητήρας τρένου.



Σχ. 1.2δ.
Δεκαεξακύλινδρη μεσόστροφη τετράχρονη πετρελαιομηχανή (τύπου V), ισχύος 11.520 kW (15.680 hp) στις 510 rpm, μήκους 9,38 m ύψους 5,27 m και βάρους 132 τόνων.



Σχ. 1.2ε.

Δίχρονος εξακύλινδρος αργόστροφος πετρελαιοκινητήρας (εν σειρά) σε τομή, ισχύος 13.530 kW (18.420 hp), μήκους 7,688 m και βάρους περίπου 358 τόνων (κατασκευή 2000).

ε) Πετρελαιομηχανές ηλεκτρογεννητριών.

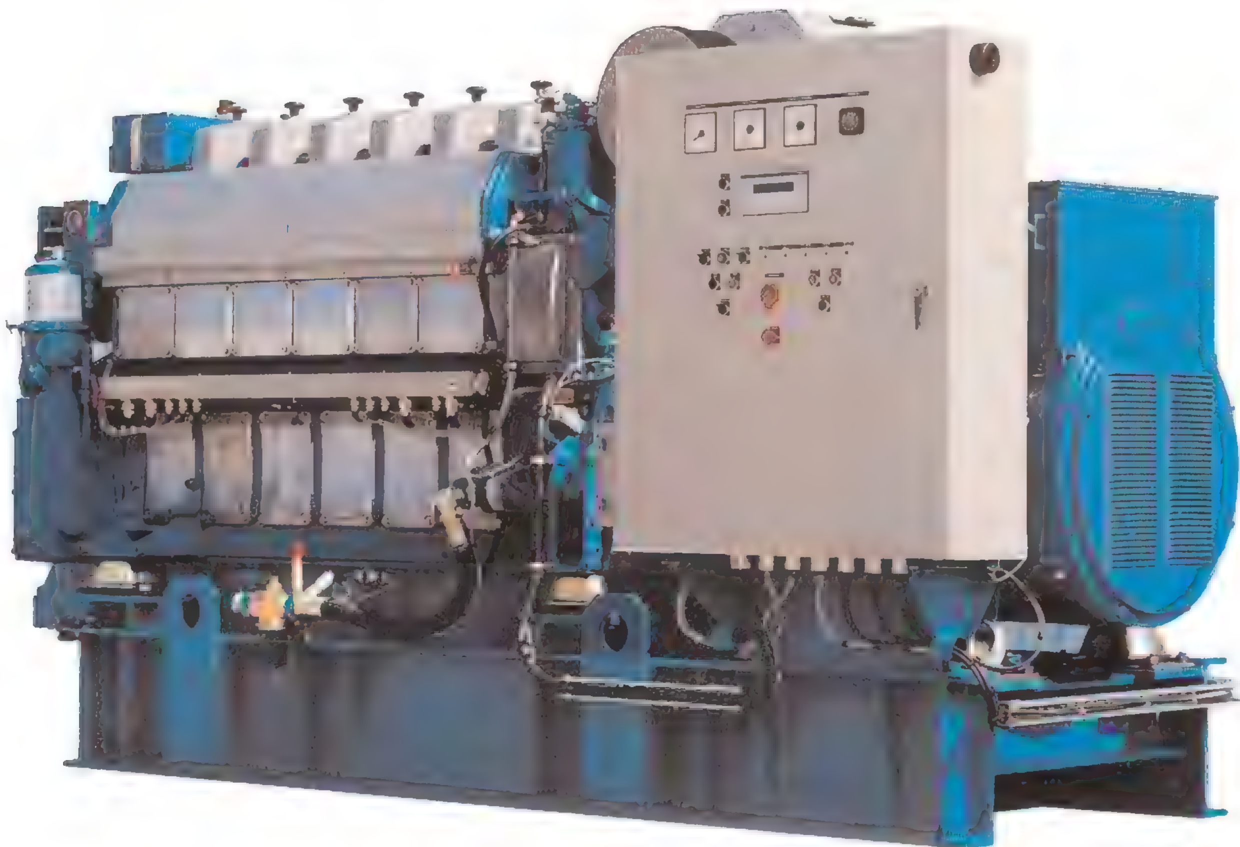
Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή ισχύς, ο μεγάλος βαθμός αξιοπιστίας στη λειτουργία τους, οι σταθερές στροφές λειτουργίας (υποχρεωτική προϋπόθεση επιτεύξεως σταθερής συχνότητας ρεύματος) και η σχετικά οικονομική λειτουργία τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως από τη Δ.Ε.Η. στην ηλεκτροδότηση των νησιών, στα νοσοκομεία για την ηλεκτροδότηση έκτακτης ανάγκης, σε βιομηχανικές και σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις κ.λ.π. Οι κινητήριες μηχανές που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη των πλοίων πρέπει επιπλέον να συγκεντρώνουν υψηλή ισχύ σε μικρό όγκο και βάρος. Στο σύνολό τους είναι υπερπληρούμενες με υψηλό βαθμό ηλεκτρονικού ελέγχου (σχ. 1.2στ).

1.3 Χρήση των βενζινομηχανών.

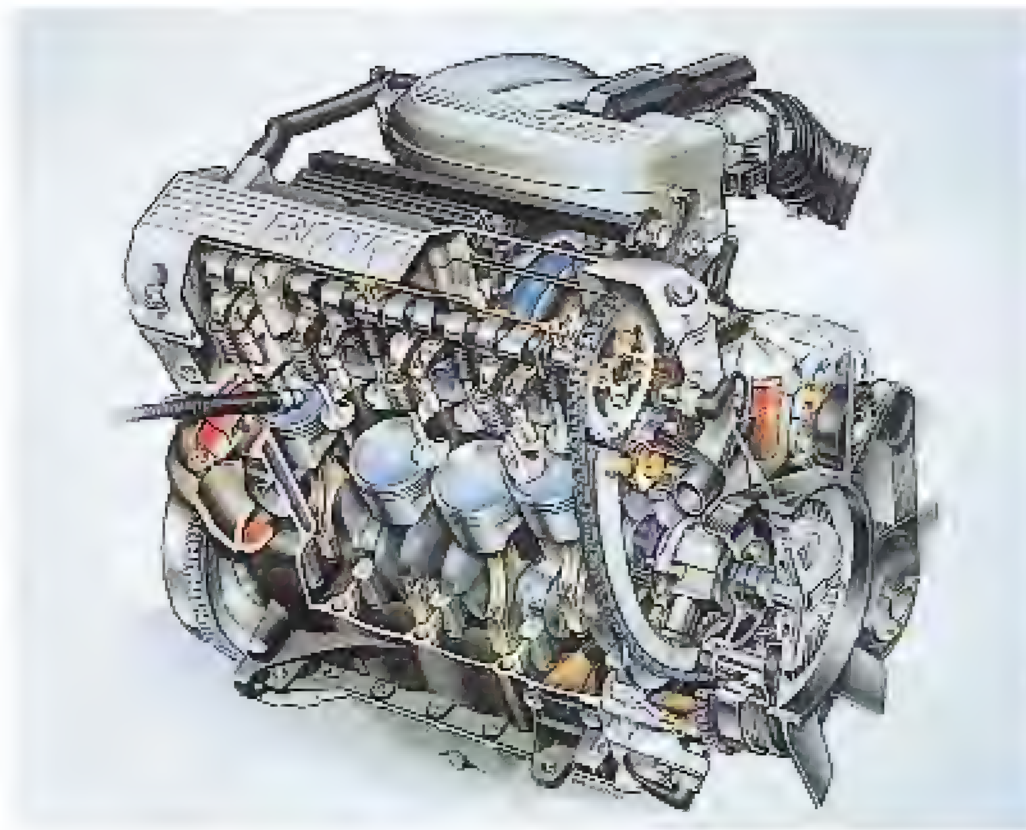
Οι βενζινοκινητήρες χρησιμοποιούνται κατ' εξοχήν στην κίνηση επιβατικών οχημάτων και μοτοποδηλάτων, στην πρόωση μικρών ταχυπλόων σκαφών, ελικοφόρων αεροπλάνων καθώς και στην κίνηση μικρών ηλεκτρογεννητριών και γεωργικών μηχανημάτων.

α) Μηχανές αυτοκινήτων.

Οι βενζινοκινητήρες, λόγω της μεγαλύτερης ισχύος που μπορούν να αναπτύξουν στον ίδιο όγκο (σε σχέση με τους αντίστοιχους πετρελαιοκινητήρες), το μικρό τους βάρος και την ταχύτερη απόκριση σε επιτάχυνση, έχουν επικρατήσει στην αυτοκινητοβιομηχανία (σχ. 1.3). Στη βιομηχανία μοτοποδηλάτων και μοτοσυκλετών είναι το μοναδικό είδος που χρησιμοποιείται, λόγω της υψηλής ισχύος που μπορούν να επιτύχουν με ανάλογη αύξηση των στροφών περιστροφής για το απαιτούμενο μικρό βάρος τους. Η έρευνα τα τελευταία χρόνια στρέφεται προς τη μείωση των ρύπων με τη χρήση καταλυτών και την καύση πτωχού μείγματος. Παράλληλοι στόχοι είναι η βελτίωση της αποδόσεως σε όλο το φάσμα των στροφών με τη χρήση πολυβάλβιδων κινητήρων μεταβλητού χρονισμού, η εφαρμογή του άμεσου ή έμμεσου ψεκασμού του καυσίμου και η ευρύτατη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων για το βέλτιστο έλεγχο του κινητήρα.



Σχ. 1.2στ.
Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος κινούμενο με πετρελαιοκινητήρα.



Σχ. 1.3.
Τετρακύλινδρος τετράχρονος βενζινοκινητήρας αυτοκινήτου σε τομή.

β) Ναυτικές μηχανές.

Οι βενζινοκινητήρες ως ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται κατ' αποκλειστικότητα στα μικρά ταχύπλοα σκάφη αναψυχής, καθώς επίσης και στα jet-ski για την κίνηση των αντλιών προώσεώς τους. Είναι συνήθως δίχρονοι και τετράχρονοι μικρού βάρους υδρόψυκτοι κινητήρες με ανοικτό κύκλωμα ψύξεως.

γ) Κινητήρες γεωργικών και λοιπών μηχανημάτων.

Οι κινητήρες αυτοί είναι κυρίως δίχρονοι, ελαφράς κατασκευής και χρησιμοποιούνται σε πολλές γεωργικές εργασίες (αλυσιδοπρίονα, χορτοκοπτικά, ραντιστικά, ποτιστικά κ.λ.π.).

δ) Βενζινοκίνητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

Τα βενζινοκίνητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται μικρή παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, εύκολη μεταφορά και μικρό βάρος. Χρησιμοποιούνται σε περιοχές που δεν καλύπτονται από σταθερό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, σε γεωργικές και οικιακές εκμεταλλεύσεις κ.λ.π.

ε) Εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες.

Χρησιμοποιούνται πλέον μόνο στην κίνηση μικρών ελικοφόρων αεροσκαφών και μικρών ελικοπτέρων. Είναι υψηλού αριθμού στροφών, καταναλώνουν ειδικό καύσιμο (αεροπορική βενζίνη), έχουν μικρό βάρος, είναι αερόψυκτοι και διαθέτουν ειδικά συστήματα λιπάνσεως και τροφοδοσίας για λειτουργία σε μεγάλα ύψη και σε ανάστροφη πτήση. Συνήθως είναι εμβολοφόροι παλινδρομικοί, ενώ για την κίνηση υπερελαφρών ή τηλεκατευθυνομένων αεροσκαφών χρησιμοποιούνται και περιστροφικοί κινητήρες τύπου Wankel.

1.4 Αρχές λειτουργίας και απλή περιγραφή μονοκύλινδρης εμβολοφόρου παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσεως.

1.4.1 Γενικά.

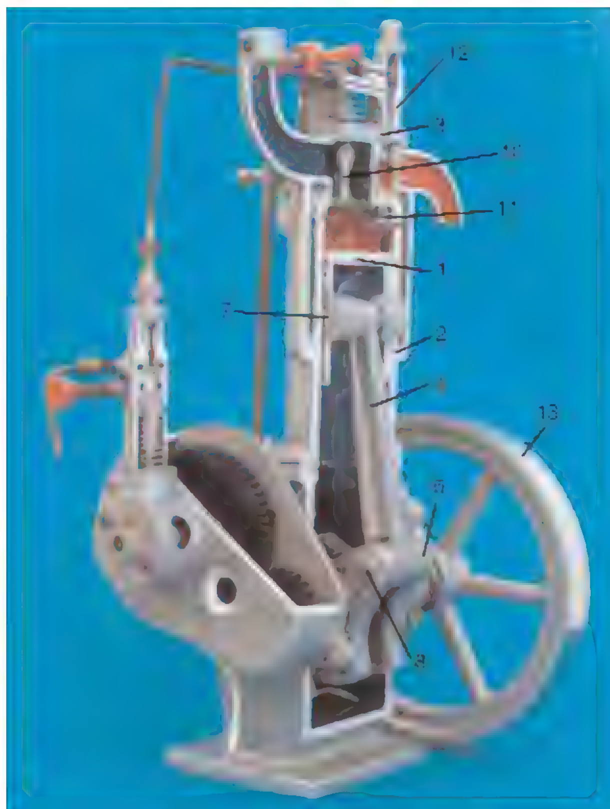
Η αρχή λειτουργίας των εμβολοφόρων παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσεως συνίσταται στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας, που εκλύεται από την καύση του καυσίμου, μέσα σε κατάλληλα δι-

αμορφωμένο κλειστό χώρο (θάλαμος καύσεως), σε μηχανικό έργο, μέσω καταλλήλων εξαρτημάτων και μηχανισμών (σχ. 1.4α και 1.4β). Η εκλυόμενη θερμική ενέργεια, επειδή πραγματοποιείται μέσα σε κλειστό χώρο, έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της πιέσεως και της θερμοκρασίας των καυσαερίων. Η πίεση που αναπτύσσεται, μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο μέσω της ελεγχόμενης μεταβολής του όγκου του θαλάμου καύσεως. Αυτό επιτυγχάνεται με την κίνηση του ***εμβόλου*** (piston) (1) εντός του ***κυλίνδρου*** (cylinder) (2) της μηχανής. Η άνω επιφάνεια του εμβόλου (όταν αυτό βρίσκεται στο ανώτερο σημείο του), τα εσωτερικά τοιχώματα του κυλίνδρου και το ***πώμα*** (καπάκι - cylinder head) (3) του κυλίνδρου ορίζουν το ***θάλαμο καύσεως***.

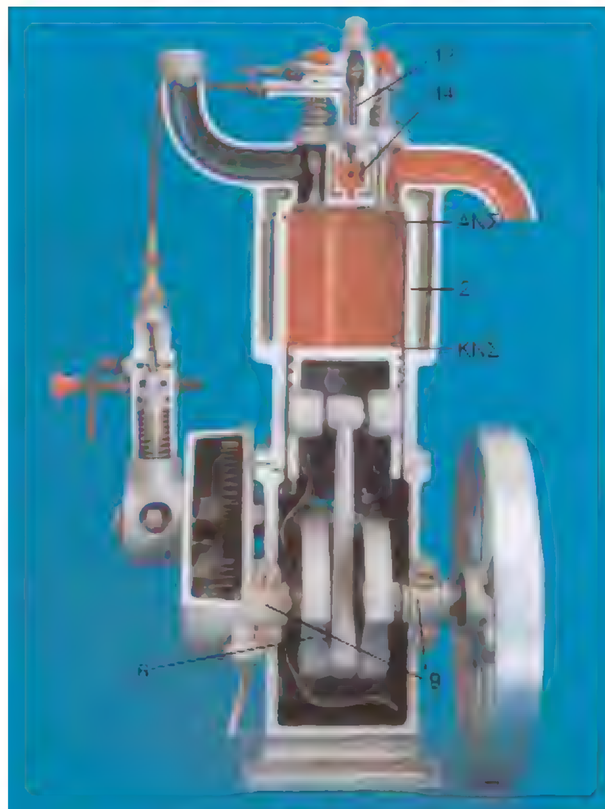
Η ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική μέσω κατάλληλου κινηματικού μηχανισμού που αποτελείται από το ***διωστήρα*** (connecting rod) (4) και το ***στρόφαλο*** (5), ο οποίος αποτελεί τμήμα του ***στροφαλοφόρου άξονα*** (cranckshaft) (6) της μηχανής. Ο διωστήρας συνδέεται στο άνω άκρο του στο έμβολο με κατάλληλο ***πείρο*** (7). Στο κάτω άκρο του συνδέεται με τη βοήθεια κατάλληλου ***εδράνου*** στο ***κομβίο*** (8) του στροφαλοφόρου άξονα, ο οποίος στηρίζεται και στα δύο άκρα του στα ***έδρανα βάσεως*** (9).

Η περιστροφική κίνηση του στροφάλου και το διπλάσιο της ακτίνας του ορίζουν τις δύο ακραίες θέσεις μετακινήσεως του εμβόλου, οι οποίες ονομάζονται ***Άνω Νεκρό Σημείο*** (ΑΝΣ) (Top Dead Center) και ***Κάτω Νεκρό Σημείο*** (ΚΝΣ) (Bottom Dead Centre). Η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σημείων ονομάζεται ***διαδρομή*** (s) (stroke) του εμβόλου.

Ο όγκος του κυλίνδρου που περιέχεται μεταξύ των άνω επιφανειών του εμβόλου στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ ονομάζεται ***όγκος εμβολισμού*** (V_h) και ισούται με το γινόμενο της διαδρομής του εμβόλου επί το εμβαδόν της διατομής του κυλίνδρου. Ο όγκος του κυλίνδρου που περιέχεται μεταξύ της άνω επιφάνειας του εμβόλου στο ΑΝΣ και της κάτω επιφάνειας του πώματος ονομάζεται ***όγκος θαλάμου καύσεως*** ή ***επιζήμιος όγκος*** (V_c).



Σχ. 1.4α.
Απλή μονοκύλινδρη εμβολοφόρος Μ.Ε.Κ. σε τομή (λοξή πλάγια όψη).



Σχ. 1.4β.
Απλή μονοκύλινδρη εμβολοφόρος Μ.Ε.Κ. σε τομή (πλάγια όψη).

Το πώμα του κυλίνδρου φέρει κατάλληλους αγωγούς, από τους οποίους εισέρχεται ο αέρας στον κύλινδρο και εξέρχονται τα καυσαέρια. Η ρύθμιση της ροής μέσα από τους αγωγούς πραγματοποιείται με το κατάλληλο άνοιγμα και κλείσιμο των ***βαλβίδων*** (valves). Ανάλογα με τη λειτουργία τους διακρίνονται σε ***βαλβίδες εισαγωγής*** (intake valves)(του αέρα ή του μείγματος αέρα-καυσίμου) (10) και ***βαλβίδες εξαγωγής*** (exhaust valves) των καυσαερίων (11). Το καύσιμο εισέρχεται στον κύλινδρο, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, είτε μαζί με τον αέρα εισαγωγής, είτε ψεκαζόμενο κατευθείαν εντός του κυλίνδρου μέσω ***εγχυτήρα*** (injection valve) (12), είτε ψεκαζόμενο σε ***προθάλαμο καύσεως*** (14).

Το έργο από την εκτόνωση των καυσαερίων παράγεται κατά τη μετακίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ. Η μετακίνηση του εμβόλου μεταξύ των νεκρών σημείων, εκτός από τη διαδρομή κατά την εκτόνωση των καυσαερίων, απαιτεί και την κατανάλωση έργου. Το έργο αυτό παρέχεται από το ***σφόνδυλο*** (flywheel) (13), ο οποίος συνδέεται με το στροφαλοφόρο άξονα. Λόγω της μεγάλης μάζας και της περιστροφικής του κινήσεως ο σφόνδυλος αποταμιεύει ενέργεια κατά την εκτόνωση των καυσαερίων, την οποία αποδίδει για τις υπόλοιπες μετακινήσεις του εμβόλου.

Ο κύκλος λειτουργίας της μηχανής περιλαμβάνει τη διαδικασία εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα (ή του μείγματος αέρα-καυσίμου) μέσα στον κύλινδρο, τη συμπίεσή του, την εισαγωγή του καυσίμου, τη διαδικασία της καύσεως, την εκτόνωση των καυσαερίων και τέλος την εξαγωγή τους στο περιβάλλον. Οι διεργασίες αυτές, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, πραγματοποιούνται σε δύο ή τέσσερεις διαδρομές του εμβόλου (χρόνους), δηλαδή σε μία ή δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα (δίχρονη - τετράχρονη μηχανή).

Η ρύθμιση της ισχύος και του αριθμού στροφών της μηχανής συναρτάται με την παροχή καυσίμου στον κινητήρα.

1.5 Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

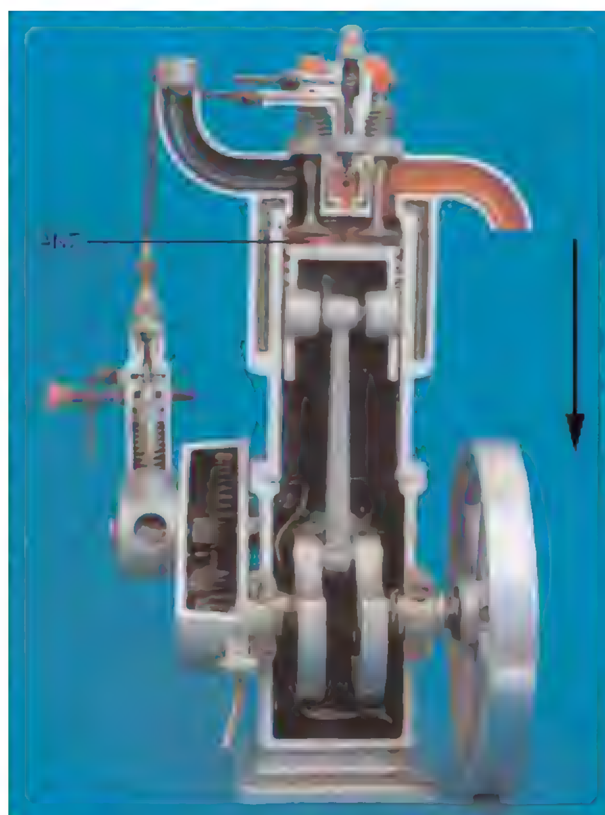
Η τετράχρονη πετρελαιομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερεις φάσεις και σε τέσσερεις χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ άνω και κάτω νεκρού σημείου). Η διαδικασία ολοκληρώσεως ενός κύκλου λειτουργίας τετράχρονης (4-Χ) μηχανής αντιστοιχεί σε δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα (720° γωνίας στροφάλου). Αρχικά θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων αυτών (θεωρητική λειτουργία), για ευκολότερη κατανόηση της διαδικασίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυσή τους. Στην περιγραφή της λειτουργίας για ευκολία υποθέτομε ότι έχομε μία μονοκύλινδρη μηχανή, η οποία φέρει στο πώμα της μία βαλβίδα εισαγωγής και μία βαλβίδα εξαγωγής.

Συνοπτικά οι φάσεις λειτουργίας της τετράχρονης πετρελαιομηχανής είναι οι εξής:

– Εισαγωγή,
– συμπίεση,
– καύση – εκτόνωση
– εξαγωγή καυσαερίων.

α) Εισαγωγή.

Η εισαγωγή αποτελεί την πρώτη φάση λειτουργίας της μηχανής. Αρχικά το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.5α), ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ



Σχ. 1.5α.
Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (αρχή πρώτου χρόνου) και ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι ακόμη ανοικτή. Η ύπαρξη χρόνου επικαλύψεως στο άνοιγμά τους βελτιώνει την απόπλυση του κυλίνδρου.

αντίστοιχα η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, αυξάνεται ο όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ταυτόχρονα μειώνεται η πίεση. Ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής στο εσωτερικό του κυλίνδρου, λόγω της υψηλότερης εξωτερικής πιέσεως, καταλαμβάνοντας τον όγκο που ελευθερώνεται από το κατερχόμενο έμβολο (σχ. 1.5β). Η κίνηση αυτή του εμβόλου πραγματοποιείται εξαναγκαστικά, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο, μέσω του στροφαλοφόρου άξονα και του διωστήρα.

Όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, ολοκληρώνεται η φάση της εισαγωγής, κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ ολόκληρος ο όγκος του κυλίνδρου έχει γεμίσει με αέρα ατμοσφαιρικής πιέσεως.

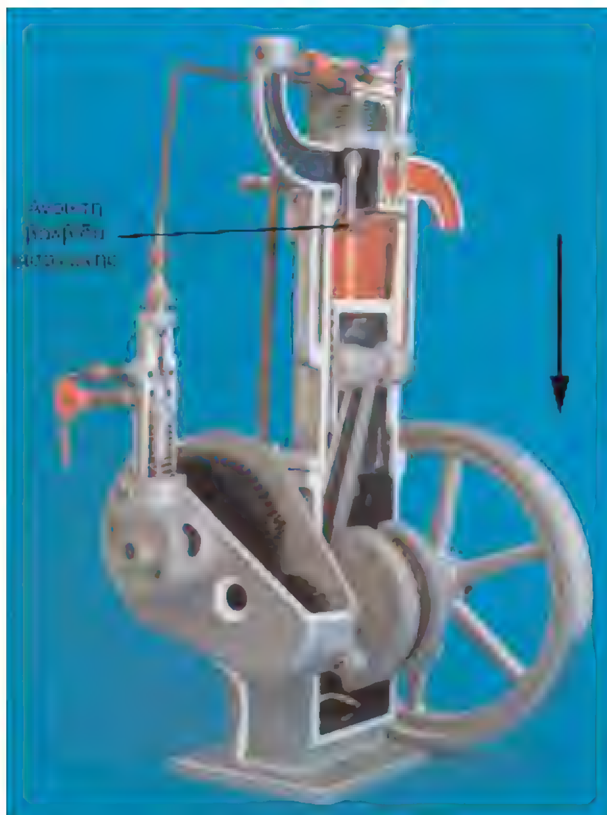
Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της εισαγωγής αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα.

β) Συμπίεση.

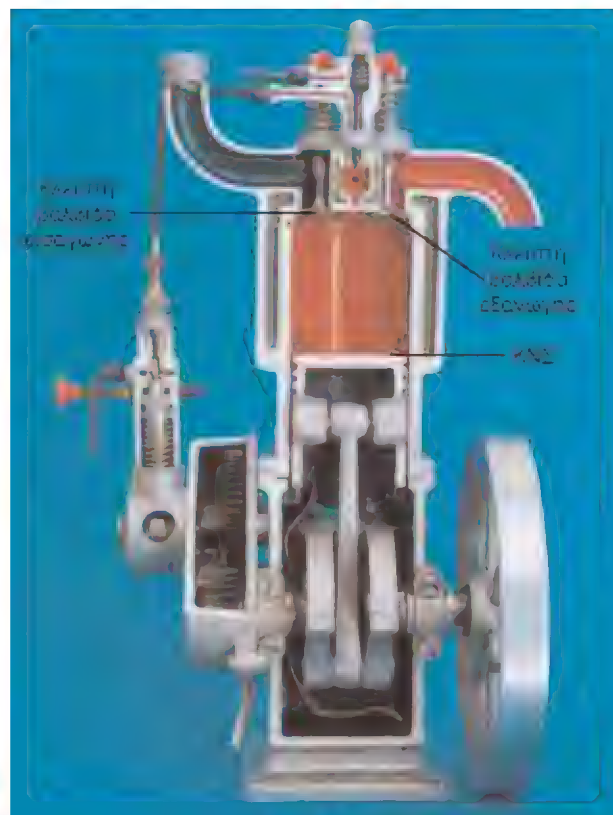
Η φάση της συμπιέσεως ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση του κυλίνδρου (σχ. 1.5γ). Καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου αέρα μαζί με τη θερμοκρασία του (σχ. 1.5δ). Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ο όγκος του αέρα έχει περιορισθεί στον επιζήμιο όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου. Ο λόγος του αρχικού όγκου του κυλίνδρου προς τον τελικό όγκο του κυλίνδρου στη φάση της συμπιέσεως ονομάζεται ***βαθμός συμπιέσεως της μηχανής***.

Το έμβολο κατά τη φάση της συμπιέσεως κινείται όπως και στην προηγούμενη φάση της εισαγωγής, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

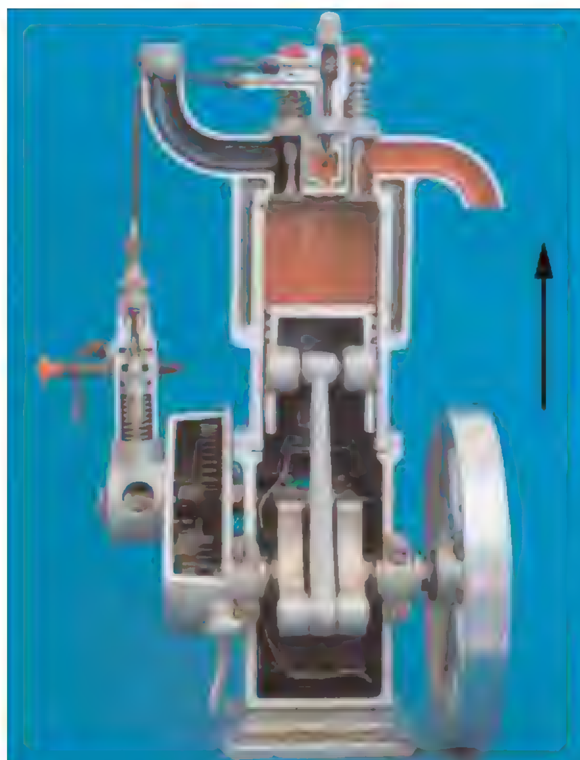
Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της συμπιέσεως αποτελεί το δεύτερο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα.



Σχ. 1.5β.
Στον πρώτο χρόνο το έμβολο κατερχόμενο προς το ΚΝΣ δημιουργεί υποπίεση και ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή.



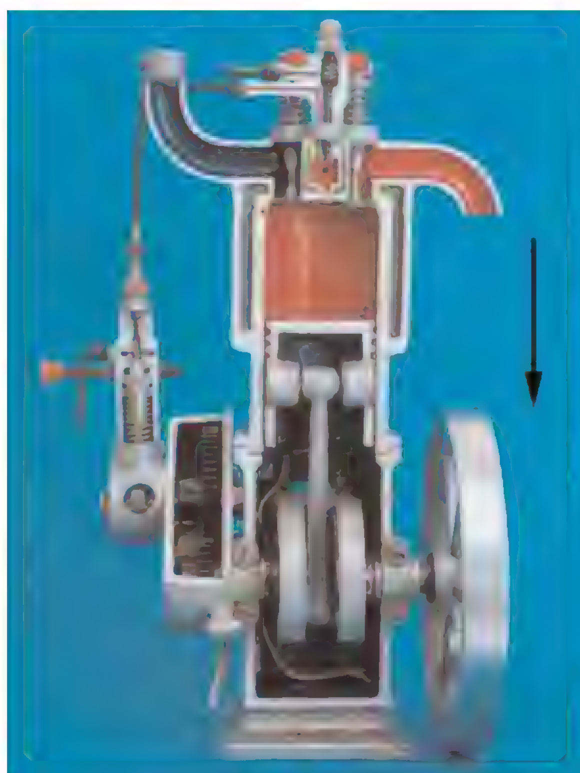
Σχ. 1.5γ.
Το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ, έχει κλείσει η βαλβίδα εισαγωγής, έχει τελειώσει ο πρώτος χρόνος και αρχίζει η συμπίεση του αέρα.



Σχ. 1.5δ.
Το έμβολο ανερχόμενο προς το ΑΝΣ συμπιέζει τον αέρα εντός του κυλίνδρου (δεύτερος χρόνος).



Σχ. 1.5ε.
Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (τέλος δεύτερου χρόνου), ο αέρας έχει συμπιεσθεί και το καύσιμο ψεκάζεται εντός του θαλάμου καύσεως. Η υψηλή θερμοκρασία και πίεση προκαλούν την αυτανάφλεξή του.



Σχ. 1.5στ.
Η εκτόνωση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ, παράγοντας έργο (τρίτος χρόνος).

γ) Καύση – Εκτόνωση.

Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές (σχ. 1.5ε). Ο αέρας εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία και το καύσιμο (πετρέλαιο) ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο από τον εγχυτήρα (μπεκ) με τη μορφή νέφους μικροσκοπικών σταγονιδίων. Το πετρέλαιο αναμειγνύεται με τον αέρα και λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυταναφλέγεται. Η καύση του μείγματος αέρα-πετρελαίου ελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ (σχ. 1.5στ). Το έμβολο μεταδίδει την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο, μετατρέποντας την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Με την άφιξη του εμβόλου στο ΚΝΣ τελειώνει η τρίτη φάση λειτουργίας, η οποία είναι και η μοναδική ενεργή φάση, δηλαδή η μοναδική περίοδος που παράγεται μηχανικό έργο. Ένα τμήμα του έργου αυτού αποθηκεύεται στο σφόν-

δυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της καύσεως – εκτονώσεως αποτελεί τον τρίτο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα.

δ) Εξαγωγή καυσαερίων.

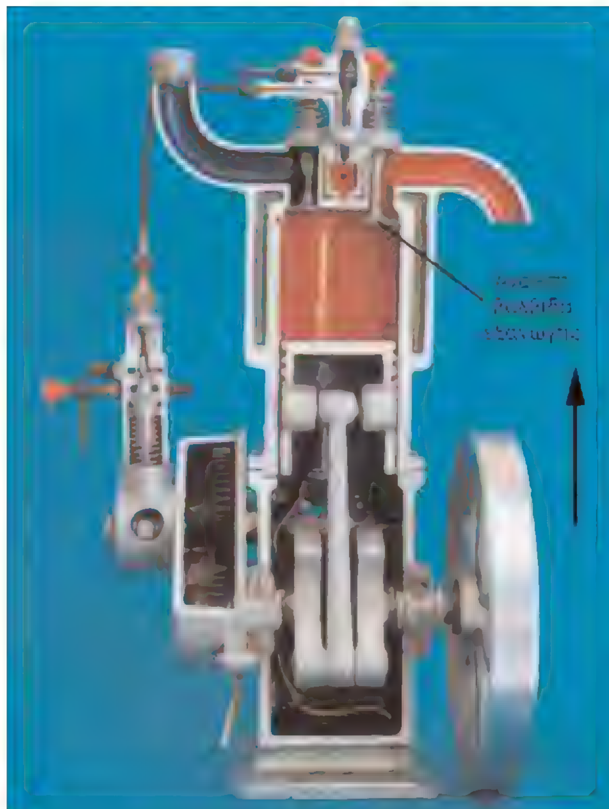
Η τέταρτη και τελευταία φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ (σχ. 1.5ζ). Με την έναρξη της ανόδου του προς το ΑΝΣ ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή (σχ. 1.5η). Λόγω της υψηλότερης πιέσεως που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο (σε σχέση με την εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση) και της εξαναγκασμένης κινήσεως του εμβόλου προς το ΑΝΣ, τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής και τον αγωγό εξαγωγής. Η φάση της εξαγωγής ολοκληρώνεται, όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, οπότε και κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής. Και αυτή η φάση πραγματοποιείται επειδή το έμβολο αντλεί μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της εξαγωγής αποτελεί τον τέταρτο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα, ολοκληρώνοντας έτσι έναν πλήρη (θεωρητικό) κύκλο λειτουργίας τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

1.5.1 Πραγματική λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

Στη θεωρητική λειτουργία της τετράχρονης εμβολοφόρου πετρελαιομηχανής οι τέσσερεις φάσεις ταυτίζονται χρονικά με τους τέσσερεις χρόνους λειτουργίας. Αντίθετα, κατά την πραγματική λειτουργία οι φάσεις λειτουργίας που παρουσιάστηκαν προηγουμένως δεν οριοθετούνται από το ΑΝΣ και το ΚΝΣ και συνεπώς δεν ταυτίζονται με τους αντίστοιχους χρόνους.

Το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής και εξαγωγής δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στιγμιαία στα νεκρά σημεία για μηχανικούς λόγους. Παράλληλα, οι χρονικές στιγμές ολοκληρώσεως των παραπάνω κινήσεων των βαλβίδων δεν συμπίπτουν με την παρουσία του εμβόλου στα νεκρά



Σχ. 1.5ζ.
Στον τέταρτο χρόνο λειτουργίας, κατά την άνοδο του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και τα καυσαέρια εξέρχονται του κυλίνδρου.



Σχ. 1.5η.
Η εξώθηση των καυσαερίων από το έμβολο πραγματοποιείται αντλώντας έργο από το σφόνδυλο της μηχανής (τέταρτος χρόνος).

σημεία, για θερμοδυναμικούς λόγους (οι οποίοι θα αναπτυχθούν στα αντίστοιχα κεφάλαια). Επιπρόσθετα, η έγχυση του καυσίμου δεν πραγματοποιείται στιγμιαία ούτε ξεκινά στο ΑΝΣ, για λόγους που θα αναπτυχθούν στα αντίστοιχα κεφάλαια. Έτσι η ιδεατή λειτουργία που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους πρέπει να αντικατασταθεί με μια περιγραφή πιο κοντά στην πραγματικότητα.

α) Εισαγωγή.

Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής έχει ήδη ξεκινήσει αρκετές μοίρες, πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ (10^o έως 35^o γωνία στροφάλου στις μηχανές χωρίς υπερπλήρωση, μέχρι 80^o γωνία στροφάλου με υπερπλήρωση) στο τέλος της φάσεως εξαγωγής του προηγούμενου κύκλου λειτουργίας. Όταν το έμβολο φτάνει στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εισαγωγής είναι ήδη πλήρως ανοικτή, οπότε με την έναρξη της καθόδου του εμβόλου προς το ΚΝΣ, έχει μεγιστοποιηθεί η διατομή του αγωγού εισαγωγής, για τη διευκόλυνση της ροής του αέρα προς τον κύλινδρο.

Το πλήρες κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ (25^o έως 50^o). Αν και το έμβολο έχει ήδη αρχίσει να ανεβαίνει προς το ΑΝΣ, η αδράνεια του εισερχόμενου αέρα επιτρέπει σε αυτόν να εισέρχεται στον κύλινδρο από τις ανοικτές βαλβίδες εισαγωγής.

Καθώς ο εισερχόμενος αέρας έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες της μηχανής αυξάνεται η θερμοκρασία του, με αποτέλεσμα να μειωθεί η πυκνότητά του. Έτσι τελικά, μικρότερη μάζα αέρα καταλαμβάνει τον όγκο του κυλίνδρου σε σχέση με τη μάζα που θα εισέρεε στην ιδανική περίπτωση.

Το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής ονομάζεται ***προπορεία εισαγωγής***. Η καθυστέρηση στο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής ονομάζεται ***βραδυπορία εισαγωγής***.

β) Συμπίεση.

Η συμπίεση του αέρα αρχίζει με το σταδιακό κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής είναι ήδη κλειστή. Προφανώς, η έναρξη της φάσεως πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ. Η αύξηση της πιέσεως μέσα στον κύλινδρο συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Η τελική πίεση στο τέλος της φάσεως μπορεί να φτάνει τα 160 bar (για υπερπληρούμενες μεσόστροφες πετρελαιομηχανές).

γ) Καύση – Εκτόνωση.

Η έγχυση του καυσίμου ξεκινά αρκετές μοίρες πριν το ΑΝΣ (8^o έως 10^o για τις αργόστροφες και μέχρι 25^o για τις πολύστροφες μηχανές), ενώ ολοκληρώνεται από 10^o έως και 25^o μετά το ΑΝΣ για τις αργόστροφες και τις πολύστροφες μηχανές αντίστοιχα. Η καύση ξεκινάει με την έγχυση του καυσίμου και διαρκεί σχεδόν μέχρι το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής, ως αποτέλεσμα της χρήσεως του πετρελαίου ως καυσίμου. Οι χρονικές στιγμές ενάρξεως και ολοκληρώσεως της εγχύσεως του καυσίμου στον κύλινδρο ρυθμίζονται με τρόπο ώστε να προκύπτει ομαλή ταχύτητα καύσεως και η μέγιστη τιμή της πιέσεως στον κύλινδρο να εμφανίζεται λίγες μοίρες (10^o έως 20^o) μετά το ΑΝΣ.

Κατά τη φάση αυτή η πίεση μέσα στον κύλινδρο φθάνει σε πολύ υψηλές τιμές (30 έως 60 bar για μη υπερπληρούμενες πετρελαιομηχανές και μέχρι 200 bar για υπερπληρούμενες πετρελαιομηχανές). Αντίστοιχα, τα καυσαέρια εμφανίζουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται συνήθως περί τους 2000^oC.

δ) Εξαγωγή καυσερίων.

Η βαλβίδα εξαγωγής αρχίζει να ανοίγει αρκετές μοίρες πριν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ (30^o έως 50^o στις μη υπερπληρούμενες και 45^o έως 70^o στις υπερπληρούμενες μηχανές). Με το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής μειώνεται ταχύτερα η πίεση εντός του κυλίνδρου, λόγω της εξόδου των καυσαερίων. Η μείωση αυτή της πιέσεως προκαλεί μείωση του έργου που θα μπορούσε να παράγει το έμβολο εάν ακολουθούσε μια πλήρη εκτόνωση των καυσαερίων μέχρι το ΚΝΣ. Αντίθετα, εάν δεν υπήρχε η έγκαιρη αυτή πτώση της πιέσεως με το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας, θα χρειαζόταν περισσότερη ενέργεια για την εξώθηση των καυσαερίων στην επόμενη φάση της εξαγωγής.

Κατά την έναρξη της εξαγωγής των καυσαερίων, η πίεση στον κύλινδρο έχει πέσει στα 3 έως 4 bar περίπου. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία των καυσαερίων έχει φθάσει στους 500^o έως 600^oC.

Η βαλβίδα εξαγωγής, αφού παραμείνει ανοικτή καθ' όλη τη διαδρομή του εμβόλου από το ΚΝΣ έως το ΑΝΣ, κλείνει αρκετές μοίρες μετά το ΑΝΣ (από 5^o έως 25^o γωνία στροφάλου για μη υπερπληρούμενες, μέχρι 70^o γωνία στροφάλου για υπερπληρούμενες μηχανές) και ενώ έχει αρχίσει η φάση της εισαγωγής. Για ένα διάστημα πριν και μετά το ΑΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής και η βαλβίδα εξαγωγής συμπίπτουν σε ανοικτή θέση (σχ. 1.5α), οπότε επιτυγχάνεται ο καλύτερος καθαρισμός του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Επιπρόσθετα, με αυτόν τον τρόπο οι βαλβίδες και η κεφαλή του εμβόλου,

ψύχονται ενώ ο χώρος καύσεως καθαρίζεται από τα στερεά κατάλοιπα της καύσεως. Τελικά, επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής της μηχανής, καθώς και το διάστημα μεταξύ των απαραιτήτων επισκευών.

1.6 Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής.

Η δίχρονη πετρελαιομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερεις μεν φάσεις (εισαγωγή, συμπίεση, καύση – εκτόνωση, εξαγωγή) αλλά, σε αντίθεση με την τετράχρονη, σε δύο χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ του άνω και του κάτω νεκρού σημείου). Η διαδικασία ολοκληρώσεως ενός κύκλου λειτουργίας δίχρονης (2-Χ) μηχανής αντιστοιχεί σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα (360^o γωνίας στροφάλου). Αρχικά θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων και των χρόνων λειτουργίας, για ευκολότερη κατανόηση της διαδικασίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυσή τους. Όπως και στην περίπτωση της τετράχρονης πετρελαιομηχανής, για ευκολία θα υποθέσομε ότι έχομε μία μονοκύλινδρη μηχανή.

Η κλασική δίχρονη πετρελαιομηχανή δεν χρησιμοποιεί γενικά βαλβίδες για να ελέγξει την εισαγωγή του αέρα και την εξαγωγή των καυσαερίων. (Οι σύγχρονες μεγάλης ισχύος δίχρονες πετρελαιομηχανές κατασκευάζονται πλέον με βαλβίδα εξαγωγής). Οι αγωγοί εισόδου και εξόδου δεν καταλήγουν στο πώμα του κυλίνδρου αλλά στο κάτω μέρος των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, πλησίον του ΚΝΣ. Εκεί, μέσω καταλλήλων ***θυρίδων*** (οπών), εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, επικοινωνούν με το εσωτερικό του κυλίνδρου. Οι θυρίδες αυτές (για λόγους που θα αναλυθούν αργότερα) έχουν διαφορετικό ύψος και διαφορετική θέση, ανάλογα με τη λειτουργία τους ως θυρίδες εισαγωγής ή εξαγωγής.

Ο έλεγχος του ανοίγματος και του κλεισίματος των θυρίδων (άρα και της ροής του αέρα και των καυσαερίων) πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, λίγο πριν το ΚΝΣ αποκαλύπτει σταδιακά τις θυρίδες, επιτρέποντας τόσο τη ροή του αέρα από τον αγωγό εισαγωγής προς τον κύλινδρο όσο και των καυσαερίων από τον κύλινδρο προς τον αγωγό εξαγωγής. Αντίθετα, καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ κλείνει σταδιακά τη θυρίδα εισαγωγής και τη θυρίδα εξαγωγής, στεγανοποιώντας τον κύλινδρο.

α) Καύση – Εκτόνωση.

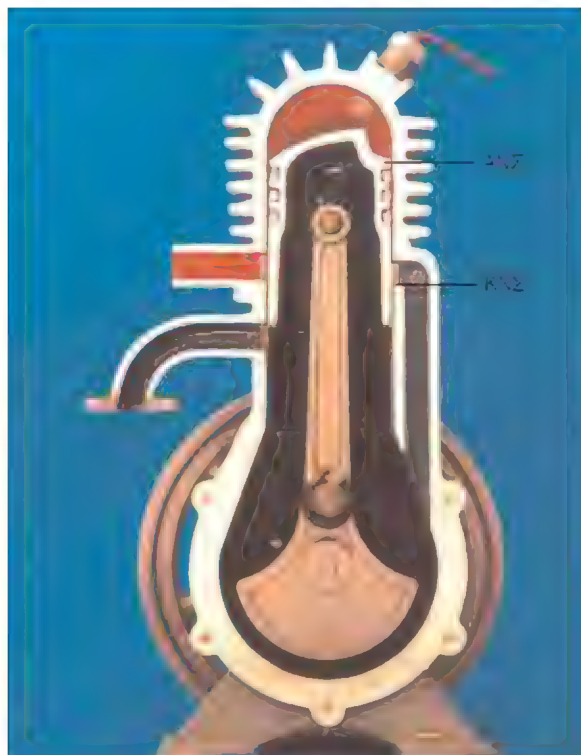
Η ανάλυση των χρόνων και των φάσεων της δίχρονης πετρελαιομηχανής θα ξεκινήσει από τη φάση της καύσεως και της εκτονώσεως, για λόγους ευκολότερης κατανοήσεως της λειτουργίας της και αφού έχει ήδη προηγηθεί η περιγραφή των αντιστοίχων φάσεων της τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

Ο πρώτος χρόνος λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.6α). Ο αέρας εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία λόγω της προηγηθείσας συμπιέσεως. Το καύσιμο (πετρέλαιο) ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο από τον εγχυτήρα με τη μορφή νέφους μικροσκοπικών σταγονιδίων. Το πετρέλαιο αναμειγνύεται με τον αέρα και λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυταναφλέγεται. Η καύση του μείγματος αέρα-πετρελαίου ελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ. Το έμβολο μεταδίδει την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο, μετατρέποντας την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής με αποτέλεσμα την έναρξη της φάσεως εξαγωγής. Η φάση της εκτονώσεως είναι και η ενεργή φάση του κύκλου, κατά την οποία πραγματοποιείται η παραγωγή του έργου της μηχανής (σχ. 1.6β). Ένα τμήμα του έργου αυτού αποθηκεύεται στο σφόνδυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

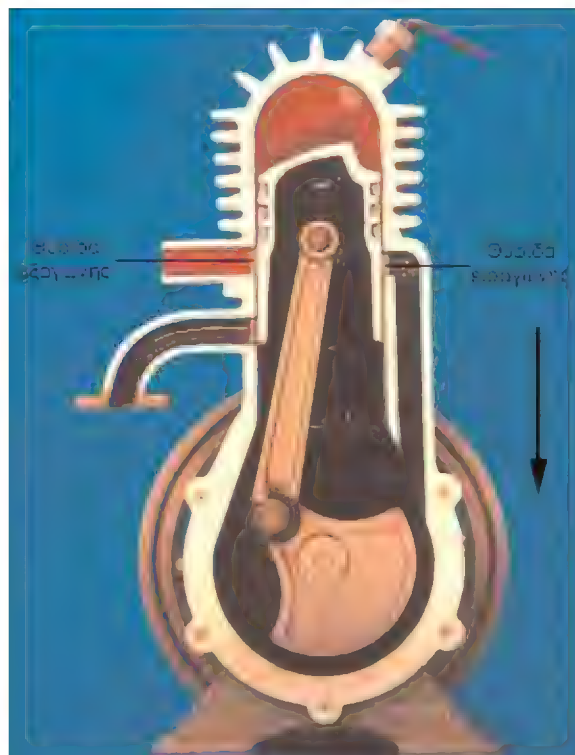
Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής.

β) Εξαγωγή καυσαερίων.

Η δεύτερη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται λίγο πριν το ΚΝΣ, τη στιγμή που αρχίζει να αποκαλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής (σχ. 1.6γ). Η θυρίδα εισαγωγής θα αποκαλυφθεί λίγο αργότερα και ενώ θα έχει πέσει αρκετά η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου. Λόγω της υψηλότερης πιέσεως που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο, τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοικτή θυρίδα εξαγωγής και τον αγωγό των καυσαερίων. Καθώς το κινούμενο προς το ΚΝΣ έμβολο αποκαλύπτει σταδιακά και τη θυρίδα εισαγωγής, αρχίζει ταυτόχρονα η φάση της εισαγωγής του αέρα. Συνεπώς, για κάποιο χρονικό διάστημα, οι φάσεις εξαγωγής των καυσαερίων και εισαγωγής του αέρα πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Παράλληλα, η εκτόνωση των καυσαερίων συνεχίζει να παράγει έργο στο έμβολο μέχρι το ΚΝΣ, επειδή η πίεση μέσα στον κύλινδρο δεν πέφτει ακαριαία με το άνοιγμα των θυρίδων.



Σχ. 1.6α.
Αρχή πρώτου χρόνου με το έμβολο στο ΑΝΣ. Φάση καύσεως, αρχή εκτονώσεως.



Σχ. 1.6β.
Το έμβολο κατέρχεται προς το ΚΝΣ στη φάση της εκτονώσεως, πιεζόμενο από τα καυσαέρια (πρώτος χρόνος).



Σχ. 1.6γ.
Το έμβολο κατερχόμενο αρχίζει την αποκάλυψη της θυρίδας εξαγωγής και αρχίζει η αντίστοιχη φάση (πρώτος χρόνος).

Κατά τη φάση της εξαγωγής, το έμβολο, αφού φθάσει στο ΚΝΣ, αρχίζει την άνοδό του προς το ΑΝΣ και σταδιακά κλείνει πρώτα τη θυρίδα εισαγωγής και στη συνέχεια τη θυρίδα εξαγωγής, οπότε και ολοκληρώνεται η φάση της εξαγωγής.

γ) Εισαγωγή – Σάρωση.

Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με την αποκάλυψη της θυρίδας εισαγωγής (ή σαρώσεως) (σχ. 1.6δ) και περατώνεται με το πλήρες κλείσιμό της κατά την άνοδο του εμβόλου από το ΚΝΣ (σχ. 1.6ε) προς το ΑΝΣ (σχ. 1.6στ). Για να είναι δυνατόν να εισέλθει ο αέρας στον κύλινδρο πρέπει να έχει πέσει αρκετά η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου. Έτσι δικαιολογείται το μεγαλύτερο ύψος της θυρίδας εξαγωγής, ώστε αυτή να αποκαλύπτεται νωρίτερα από το έμβολο.

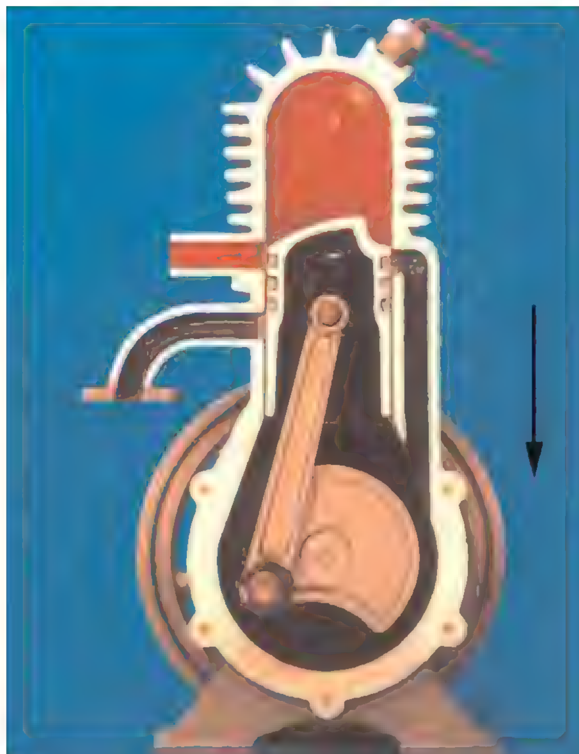
Ο εισερχόμενος αέρας καθαρίζει το χώρο καύσεως, ***σαρώνοντας*** τον κύλινδρο και ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Ενώ η λειτουργία αυτή θα περατωθεί με το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής, η εξαγωγή θα συνεχίσει για ένα μικρό χρονικό διάστημα ακόμη.

Η απαραίτητη ενέργεια για την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ μέχρι το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής και της θυρίδας εξαγωγής, παρέχεται από το σφόνδυλο.

δ) Συμπίεση.

Η φάση της συμπιέσεως ξεκινά με το έμβολο να κλείνει εντελώς, κατά την άνοδό του προς το ΑΝΣ, τη θυρίδα εξαγωγής. Ανερχόμενο το έμβολο μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου αέρα μαζί με τη θερμοκρασία του. Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο όγκος του αέρα έχει περιορισθεί στον επιζήμιο όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου. Ο λόγος του όγκου του κυλίνδρου τη στιγμή της ενάρξεως της συμπιέσεως προς τον τελικό όγκο του κυλίνδρου ονομάζεται ***ουσιαστικός βαθμός συμπιέσεως*** δίχρονης μηχανής. Η συμπίεση ολοκληρώνεται χρονικά με το έμβολο να φτάνει στο ΑΝΣ.

Η κίνηση του εμβόλου κατά τη φάση της συμπιέσεως πραγματοποιείται αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.



Σχ. 1.6δ.
Αρχή αποκαλύψεως θυρίδας εισαγωγής και έναρξη αντίστοιχης φάσεως (πρώτος χρόνος).



Σχ. 1.6ε.
Το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ στο τέλος του πρώτου χρόνου, με τις θυρίδες τελείως ανοικτές.



Σχ. 1.6στ.
Με την άνοδο του εμβολοφόρου κλείνει πρώτα η θυρίδα εισαγωγής (δεύτερος χρόνος).

1.6.1 Πραγματική λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής.

Η πραγματική λειτουργία της δίχρονης πετρελαιομηχανής διαφέρει ελάχιστα από την προαναφερθείσα στοιχειώδη λειτουργία, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στην τετράχρονη πετρελαιομηχανή. Αυτό οφείλεται στη δεδομένη θέση και γεωμετρία κατασκευής των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής επί του χιτωνίου. Το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρίδων ρυθμίζεται μόνο από το έμβολο ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται κάθε χρονική στιγμή. Κατά τη λειτουργία της δίχρονης πετρελαιομηχανής παίζει σημαντικό ρόλο η πίεση του αέρα σαρώσεως (εισαγωγής). Η πίεση αυτή πρέπει να είναι πάντα υψηλότερη της πιέσεως των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου κατά την αντίστοιχη φάση. Μόνο τότε θα μπορέσει ο νεοεισερχόμενος αέρας να ωθήσει τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου προς τον αγωγό εξαγωγής (απόπλυση κυλίνδρου). Την πίεση και την παροχή του αέρα σαρώσεως ρυθμίζει κατάλληλη αντλία, η οποία ονομάζεται ***αντλία σαρώσεως*** και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της δίχρονης πετρελαιομηχανής.

Η ανάλυση των χρόνων και των πραγματικών φάσεων της δίχρονης πετρελαιομηχανής θα ξεκινήσει από τη φάση της καύσεως και της εκτονώσεως, για λόγους ευκολότερης κατανοήσεως της λειτουργίας της, όπως ήδη έχει γίνει για την περίπτωση της θεωρητικής λειτουργίας. Ακολουθώντας διαφορετική προσέγγιση από την ανάπτυξη της στοιχειώδους λειτουργίας, η πραγματική λειτουργία θα αναλυθεί στους δύο χρόνους (διαδρομές του εμβόλου) που την απαρτίζουν.

α) Πρώτος χρόνος.

Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.6α). Η καύση βρίσκεται σε εξέλιξη, έχοντας ήδη ξεκινήσει από τον προηγούμενο χρόνο. Η έγχυση του καυσίμου συνεχίζεται και ολοκληρώνεται 10^o έως και 30^o μετά το πέρασμα του εμβόλου από το ΑΝΣ, για αργόστροφες και πολύστροφες μηχανές αντίστοιχα. Τα θερμά καυσαέρια εκτονώνονται ωθώντας το έμβολο. Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ και αφού έχει διανύσει περίπου τα 8/10 της διαδρομής αρχίζει να αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής. Η πίεση των καυσαερίων τη στιγμή αυτή είναι της τάξεως των 4 έως 5 bar. Με τη συνεχιζόμενη κάθοδο του εμβόλου για ένα διάστημα 15^o έως 25^o γωνίας στροφάλου η πίεση μέσα στον κύλινδρο συνεχώς πέφτει, και φθάνει λίγο πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση (περίπου 1,2 bar) τη στιγμή που αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής – σαρώσεως, ενώ το έμβολο έχει διανύσει περίπου τα 9/10 της διαδρομής του από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ.

Ο αέρας σαρώσεως εισέρχεται στον κύλινδρο με πίεση μεγαλύτερη της πιέσεως των καυσαερίων και λόγω του ειδικού σχήματος της θυρίδας και της κεφαλής του εμβόλου ακολουθεί συγκεκριμένη πορεία, ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή αποπλένοντας τον κύλινδρο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής και περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:

– Ολοκλήρωση εγχύσεως και καύσεως,
– εκτόνωση καυσαερίων,
– έναρξη εξαγωγής καυσαερίων,
– έναρξη εισαγωγής αέρα.

β) Δεύτερος χρόνος.

Ο δεύτερος χρόνος ξεκινά με το έμβολο να κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Η εξαγωγή των καυσαερίων και η εισαγωγή του αέρα σαρώσεως βρίσκονται σε εξέλιξη, με τον αέρα σαρώσεως να ωθεί τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Η είσοδος του αέρα συνεχίζεται μέχρι το σημείο που κλείνει πρώτα η θυρίδα εισαγωγής – σαρώσεως. Στη συνέχεια και για όσο διάστημα η θυρίδα εξαγωγής παραμένει ακόμα ανοικτή, μαζί με τα καυσαέρια εξέρχεται και μέρος του αέρα σαρώσεως. Τη στιγμή που το έμβολο καλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής και αρχίζει η συμπίεση (σχ. 1.6ζ), πρέπει εντός του κυλίνδρου να υπάρχει, εάν είναι δυνατόν, μόνον καθαρός αέρας.

Ο συμπιεζόμενος αέρας, λόγω του ειδικού σχήματος της κεφαλής του εμβόλου, του εσωτερικού του πώματος και της κλίσεως της θυρίδας εισαγωγής – σαρώσεως, στροβιλίζεται συνεχώς. Ο στροβιλισμός του αέρα και ο ψεκασμός του καυσίμου με τη μορφή νέφους μικροσκοπικών σταγονιδίων, έχει ως αποτέλεσμα την όσο το δυνατόν καλύτερη ανάμειξη αέρα-καυσίμου. Η έγχυση του καυσίμου (όπως και στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές) ξεκινά από 8° έως 10° (για τις αργόστροφες) και μέχρι 30° (για τις πολύστροφες μηχανές), πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ.



Σχ. 1.6ζ.
Μετά το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής κλείνει η θυρίδα εξαγωγής και αρχίζει η φάση της συμπιέσεως του αέρα. Το καύσιμο θα εγχυθεί στον κύλινδρο λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ σχεδόν στο τέλος της φάσεως συμπιέσεως.

Ο αέρας τη στιγμή που ξεκινά η έγχυση του καυσίμου έχει φτάσει σε πίεση 30 έως 45 bar και θερμοκρασία έως 700° C (σε μη υπερπληρούμενες μηχανές). Η θερμοκρασία αυτή υπερβαίνει το σημείο αυταναφλέξεως του πετρελαίου, οπότε το καύσιμο αυταναφλέγεται. Στο υπόλοιπο της διαδρομής έως το ΑΝΣ συνεχίζεται η συμπίεση (του μείγματος πλέον αέρα-καυσίμου), ενώ παράλληλα πραγματοποιείται συνεχώς έγχυση και καύση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η πίεση εντός του κυλίνδρου, λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή της λίγες μοίρες μετά το ΑΝΣ, στον επόμενο χρόνο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ αποτελεί το δεύτερο και τελευταίο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής, περιλαμβάνοντας τις ακόλουθες φάσεις:

– Ολοκλήρωση εισαγωγής αέρα,
– ολοκλήρωση εξαγωγής και σαρώσεως καυσαερίων,
– συμπίεση,
– έναρξη εγχύσεως και καύσεως.

Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές ο κύκλος λειτουργίας ολοκληρώνεται σε δύο χρόνους, δηλαδή σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα της μηχανής (360° γωνίας στροφάλου). Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα οι 180° αποτελούν τον ενεργό χρόνο και οι υπόλοιπες 180° τον παθητικό. Αντίθετα, στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές, ενώ ο ενεργός χρόνος διαρκεί 180°, ο κύκλος της λειτουργίας τους ολοκληρώνεται σε δύο πλήρεις περιστροφές, δηλαδή σε 720°, και οι παθητικοί χρόνοι διαρκούν 540°. Έτσι οι δίχρονες πετρελαιομηχανές έχουν πολύ μικρότερο παθητικό χρόνο από τις τετράχρονες, με αποτέλεσμα να απαιτείται μικρότερο μέγεθος και μάζα σφονδύλου.

1.7 Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης βενζινομηχανής.

Η τετράχρονη βενζινομηχανή, όπως και η αντίστοιχη πετρελαιομηχανή, ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερεις φάσεις και σε τέσσερεις χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ άνω και κάτω νεκρού σημείου). Όμως η τετράχρονη βενζι-

νομηχανή παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στον τρόπο εισαγωγής, εναύσεως και καύσεως του καυσίμου, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τις διαφορετικές ιδιότητες των αντιστοίχων καυσίμων.

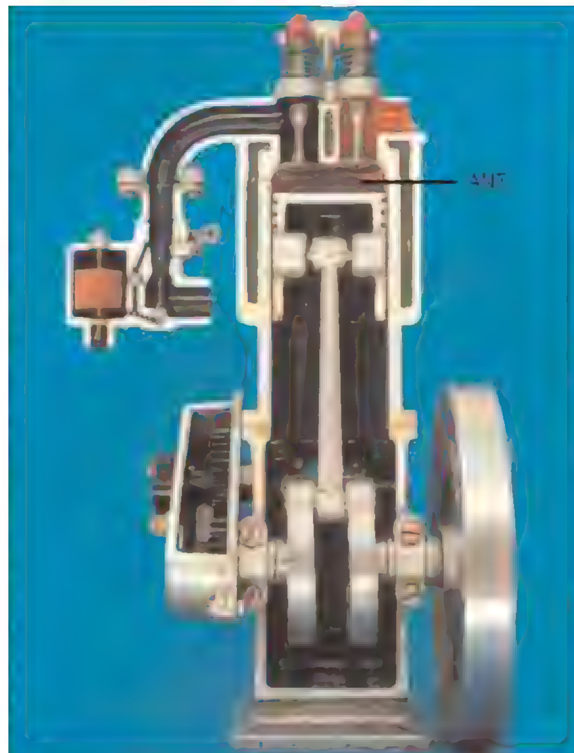
Στις βενζινομηχανές, σε αντίθεση με τις πετρελαιομηχανές, η έναυση του καυσίμου δεν πραγματοποιείται με αυτανάφλεξη, αλλά με τη χρήση κατάλληλου ***ηλεκτρικού σπινθηριστή*** (μπουζί). Ενώ στις πετρελαιομηχανές η αυτανάφλεξη είναι επιθυμητή, στις βενζινομηχανές είναι ανεπιθύμητη λόγω των ιδιοτήτων του αντίστοιχου καυσίμου.

Η βενζίνη, επειδή είναι πολύ πιο πτητική από το πετρέλαιο, μπορεί εύκολα να αναμειχθεί με τον αέρα εισαγωγής εκτός του κυλίνδρου, οπότε εισάγεται στον κύλινδρο μείγμα αέρα-καυσίμου. Η παρασκευή του μείγματος αέρα-βενζίνης πραγματοποιείται σε ειδικό εξάρτημα του συστήματος τροφοδοσίας (στους κινητήρες νέας τεχνολογίας η ανάμειξη πραγματοποιείται εντός του κυλίνδρου με ψεκασμό του καυσίμου).

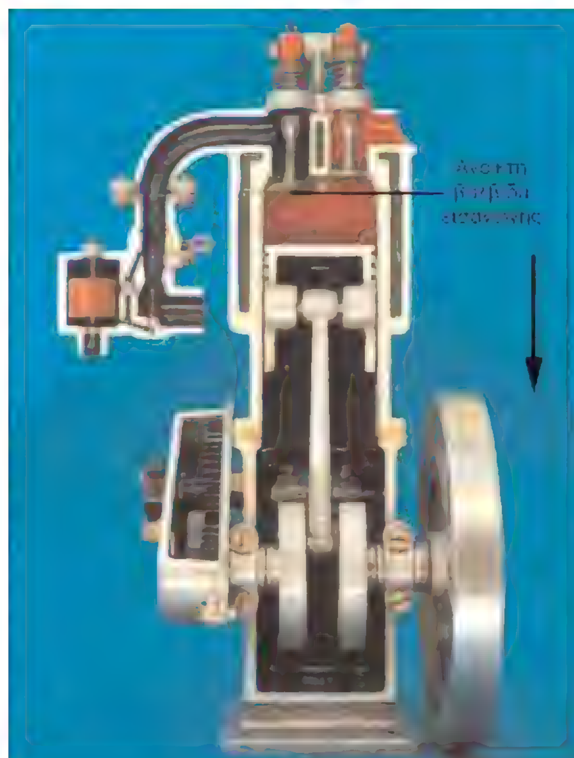
Αρχικά θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων και των χρόνων της τετράχρονης βενζινομηχανής (θεωρητική λειτουργία), για ευκολότερη κατανόηση της διαδικασίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυσή τους. Στην περιγραφή της λειτουργίας θα θεωρήσομε για ευκολία ότι έχομε μία μονοκύλινδρη βενζινομηχανή (σχ. 1.7α), η οποία φέρει στο πώμα της μία βαλβίδα εισαγωγής και μία βαλβίδα εξαγωγής, καθώς και το σπινθηριστή. Επίσης, θα θεωρήσομε ότι η μηχανή λειτουργεί σε πλήρες φορτίο, στο μέγιστο δηλαδή των δυνατοτήτων της για τις δεδομένες στροφές περιστροφής. Η τελευταία παραδοχή θα επεξηγηθεί πλήρως σε επόμενες παραγράφους.

α) Εισαγωγή.

Η εισαγωγή αποτελεί την πρώτη φάση λειτουργίας της τετράχρονης βενζινομηχανής και είναι παρόμοια με την αντίστοιχη φάση της τετράχρονης πετρελαιομηχανής. Αρχικά το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ αντίστοιχα η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, αυξάνεται ο όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ταυτόχρονα μειώνεται η πίεση. Μείγμα αέρα-καυσίμου (κατάλληλης αναλογίας) εισέρχεται από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής στο εσωτερικό του κυλίνδρου, λόγω της υψηλότερης εξωτερικής πιέσεως, καταλαμβάνοντας τον όγκο που ελευθερώνεται από το κατερχόμενο έμβολο (σχ. 1.7β). Η κίνηση αυτή του εμβόλου



Σχ. 1.7α.
Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ στην αρχή του πρώτου χρόνου.



Σχ. 1.7β.
Φάση εισαγωγής (πρώτος χρόνος). Το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ με ανοικτή τη βαλβίδα εισαγωγής και μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στον κύλινδρο.

πραγματοποιείται εξαναγκαστικά, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο, μέσω του στροφαλοφόρου άξονα και του διωστήρα.

Όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, τελειώνει η φάση της εισαγωγής (σχ. 1.7γ) και κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ ολόκληρος ο όγκος του κυλίνδρου έχει γεμίσει με μείγμα αέρα-καυσίμου.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της εισαγωγής αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της τετράχρονης βενζινομηχανής.

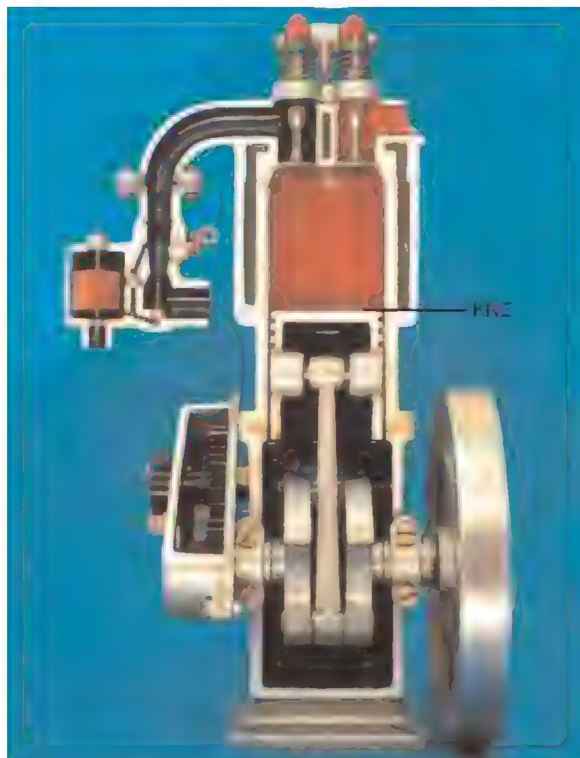
β) Συμπίεση.

Η φάση της συμπιέσεως ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση του κυλίνδρου. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου μείγματος αέρα-καυσίμου μαζί με τη θερμοκρασία του (σχ. 1.7δ). Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο όγκος του μείγματος έχει περιορισθεί στο χώρο μεταξύ πώματος και εμβόλου (επιζήμιος όγκος). Το έμβολο κινείται κατά τη φάση της συμπιέσεως όπως και στην προηγούμενη φάση της εισαγωγής, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

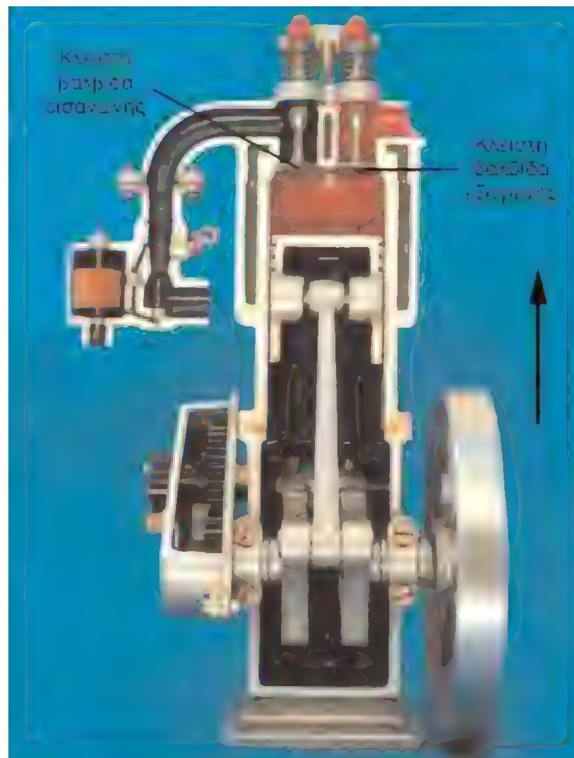
Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της συμπιέσεως αποτελεί το δεύτερο χρόνο λειτουργίας της τετράχρονης βενζινομηχανής.

γ) Καύση – Εκτόνωση.

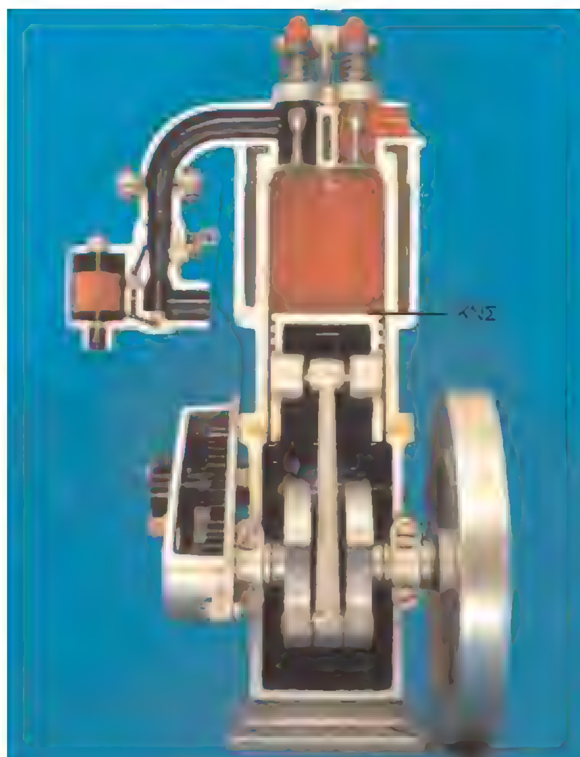
Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές. Το μείγμα αέρα-καυσίμου εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε αρκετά υψηλή πίεση και θερμοκρασία, όχι όμως τόσο υψηλές, ώστε να επιτρέπουν την αυτανάφλεξη του καυσίμου. Η ανάφλεξη πραγματοποιείται με τη χρήση του σπινθηριστή. Ο σπινθήρας που δημιουργείται μεταξύ των ηλεκτροδίων του σπινθηριστή ξεκινά τοπικά την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου, ενώ η φλόγα ταχύτατα διαδίδεται σε όλο τον όγκο του μείγματος. Η καύση ελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και



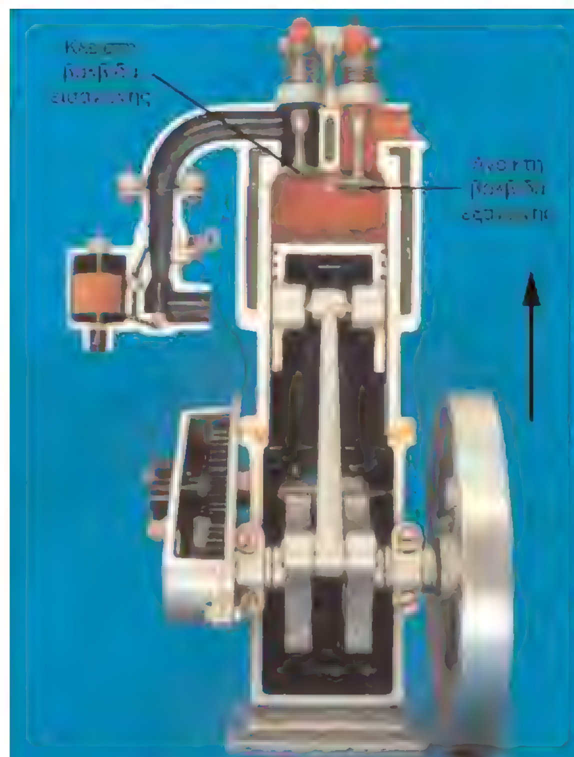
Σχ. 1.7γ.
Το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ στο τέλος της φάσεως εισαγωγής (τέλος πρώτου χρόνου).



Σχ. 1.7δ.
Φάση συμπιέσεως (δεύτερος χρόνος). Οι βαλβίδες είναι κλειστές και το έμβολο ανέρχεται προς το ΑΝΣ, συμπιέζοντας το μείγμα αέρα-καυσίμου (λίγο πριν το ΑΝΣ θα γίνει η έναυση του σπινθήρα).



Σχ. 1.7ε.
Το έμβολο ωθείται προς το ΚΝΣ λόγω της εκτονώσεως των καυσαερίων (τρίτος χρόνος).



Σχ. 1.7στ.
Φάση εξαγωγής (τέταρτος χρόνος). Το έμβολο κινούμενο προς το ΑΝΣ ωθεί τα καυσαέρια να εξέλθουν μέσα από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής.

την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ (σχ. 1.7ε). Το έμβολο μεταδίδει την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο, μετατρέποντας την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Με την άφιξη του εμβόλου στο ΚΝΣ τελειώνει η τρίτη φάση λειτουργίας, η οποία είναι και η μοναδική ενεργή φάση του κύκλου. Ένα τμήμα του έργου αυτού αποθηκεύεται στο σφόνδυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της καύσεως – εκτονώσεως αποτελεί τον τρίτο χρόνο λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα.

δ) Εξαγωγή καυσαερίων.

Η τέταρτη και τελευταία φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ. Με την έναρξη της ανόδου του προς το ΑΝΣ ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή. Λόγω της υψηλότερης πιέσεως που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο (σε σχέση με την εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση) και της εξαναγκασμένης κινήσεως του εμβόλου προς το ΑΝΣ, τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής και τον αγωγό εξαγωγής (σχ. 1.7στ). Η φάση της εξαγωγής ολοκληρώνεται όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, οπότε και κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής. Και αυτή η φάση πραγματοποιείται αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της εξαγωγής αποτελεί τον τέταρτο χρόνο λειτουργίας, ολοκληρώνοντας έτσι ένα πλήρη (θεωρητικό) κύκλο λειτουργίας τετράχρονης βενζινομηχανής.

1.7.1 Πραγματική λειτουργία τετράχρονης βενζινομηχανής.

Στη θεωρητική περιγραφή της λειτουργίας της τετράχρονης εμβολοφόρου βενζινομηχανής οι τέσσερεις φάσεις ταυτίζονται χρονικά με τους τέσσερεις χρόνους λειτουργίας. Αντίθετα, κατά την πραγματική λειτουργία οι φάσεις λειτουργίας που παρουσιάστηκαν προηγουμένως δεν οριοθετούνται από το ΑΝΣ και το ΚΝΣ και συνεπώς δεν ταυτίζονται με τους αντίστοιχους χρόνους.

Το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στιγμιαία στα νεκρά σημεία για μηχανικούς λόγους, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Παράλληλα, οι χρονικές στιγμές ολοκληρώσεως των παραπάνω κινήσεων των βαλβίδων δεν συμπίπτουν με την παρουσία του εμβόλου στα νεκρά σημεία, για θερμοδυναμικούς λόγους. Έτσι η ιδεατή λειτουργία που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους πρέπει να αντικατασταθεί με μια περιγραφή πιο κοντά στην πραγματικότητα.

α) Εισαγωγή.

Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής έχει ήδη ξεκινήσει αρκετές μοίρες (5^o έως και 25^o) πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ στο τέλος της φάσεως εξαγωγής του προηγούμενου κύκλου λειτουργίας. Εφαρμόζεται δηλαδή και στην περίπτωση του τετράχρονου βενζινοκινητήρα ***προπορεία εισαγωγής***, όπως και στην περίπτωση του αντίστοιχου πετρελαιοκινητήρα. Όταν το έμβολο φτάνει στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εισαγωγής είναι ήδη πλήρως ανοικτή, οπότε, με την έναρξη της καθόδου του εμβόλου προς το ΚΝΣ, έχει μεγιστοποιηθεί η διατομή του αγωγού εισαγωγής, για τη διευκόλυνση της ροής του μείγματος αέρα-καυσίμου προς τον κύλινδρο.

Το πλήρες κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ (από 30^o έως 60^o) (***βραδυπορία εισαγωγής***). Αν και το έμβολο έχει ήδη αρχίσει να ανεβαίνει προς το ΑΝΣ, η αδράνεια του εισερχόμενου μείγματος του επιτρέπει να εξακολουθεί να εισέρχεται στον κύλινδρο από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής. Στις χαμηλές στροφές η βαλβίδα εισαγωγής πρέπει να κλείνει νωρίς και στις υψηλές αργά, για τη βέλτιστη πλήρωση του κυλίνδρου (κάτι που επιτυγχάνεται με συστήματα μεταβλητού χρονισμού).

Καθώς το εισερχόμενο μείγμα έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες της μηχανής, αυξάνεται η θερμοκρασία του, με αποτέλεσμα να μειωθεί η πυκνότητά του. Έτσι τελικά, μικρότερη μάζα μείγματος αέρα-καυσίμου καταλαμβάνει τον όγκο του κυλίνδρου σε σχέση με τη μάζα που θα εισέρεε στην ιδανική περίπτωση.

β) Συμπίεση.

Η συμπίεση του μείγματος αρχίζει με το σταδιακό κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής είναι ήδη κλειστή. Προφανώς η έναρξη της φάσεως πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ. Η αύξηση της πιέσεως μέσα στον κύλινδρο (10 έως 25 bar) συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, η οποία φτάνει τους 400 έως 500^o C στο τέλος της φάσεως συμπιέσεως.

Η αύξηση της πιέσεως, που συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας δεν πρέπει να είναι τόσο σημαντική, ώστε να προκαλεί αυτανάφλεξη του μείγματος αέρα-βενζίνης. Επειδή η βενζίνη αναφλέγεται σε αρκετά μικρότερες θερμοκρασίες από το πετρέλαιο, θα πρέπει η θερμοκρασία στο τέλος της συμπιέσεως στον τετράχρονο βενζινοκινητήρα να είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη στον τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα. Συνεπώς, οι αντίστοιχες πιέσεις θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερες στην περίπτωση του βενζινοκινητήρα. Επειδή η αύξηση της πιέσεως οφείλεται κυρίως στη μείωση του όγκου του κυλίνδρου λόγω της κινήσεως του εμβόλου, η μείωση του όγκου (βαθμός συμπιέσεως) στους βενζινοκινητήρες θα πρέπει να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη μείωση του όγκου στους πετρελαιοκινητήρες. Ο τελικός όγκος του κυλίνδρου στο τέλος του χρόνου της συμπιέσεως είναι περίπου το 1/8 έως 1/12 του αρχικού όγκου του κυλίνδρου.

γ) Καύση – Εκτόνωση.

Η έναυση του μείγματος με τη δημιουργία του σπινθήρα δεν ξεκινά στο ΑΝΣ αλλά αρκετά πιο πριν (μέχρι και 40^o πριν το ΑΝΣ). Επειδή απαιτείται συγκεκριμένος χρόνος για τη διάδοση της φλόγας σε όλο τον όγκο του κυλίνδρου, η έναυση πρέπει να γίνει έγκαιρα, ώστε η μέγιστη πίεση εντός του θαλάμου από την καύση του μείγματος και την απελευθέρωση της θερμότητας να εμφανιστεί αμέσως μετά το ΑΝΣ, όταν η φλόγα θα έχει διαδοθεί σε ολόκληρο το μείγμα. Η έναυση του μείγματος δεν πρέπει να γίνει αρκετά νωρίς, γιατί στην περίπτωση αυτή η αυξημένη πίεση από την καύση του μείγματος θα δημιουργήσει αυξημένη αντίσταση στην άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ και συνεπώς απορρόφηση πολύτιμης ενέργειας από το σφόνδυλο (και αντίστοιχη μείωση της αποδιδόμενης προς χρήση ενέργειας). Η πλήρης καύση του μείγματος (λόγω της ποιότητας του καυσίμου) πραγματοποιείται πολύ γρήγορα, όσο ακόμη το έμβολο βρίσκεται κοντά στο ΑΝΣ (ολοκληρώνεται περίπου 5^o έως 10^o γωνίας στροφάλου μετά το ΑΝΣ), σε αντίθεση με τις αντίστοιχες πετρελαιομηχανές που συνεχίζεται σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της εκτονώσεως.

Με την καύση του μείγματος η θερμοκρασία φτά-

νει τους 2000° C έως 2500° C, ενώ αντίστοιχα η πίεση φτάνει τα 30 έως 60 bar.

δ) Εξαγωγή.

Η βαλβίδα εξαγωγής αρχίζει να ανοίγει αρκετές μοίρες (περίπου 35° έως 50°) πριν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ. Με το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής μειώνεται ταχύτερα η πίεση εντός του κυλίνδρου, λόγω της εξόδου των καυσαερίων. Η μείωση αυτή της πιέσεως προκαλεί μείωση του έργου που θα μπορούσε να παράγει το έμβολο εάν ακολουθούσε μια πλήρη εκτόνωση των καυσαερίων μέχρι το ΚΝΣ. Αντίθετα, εάν δεν υπήρχε η έγκαιρη αυτή πτώση της πιέσεως με το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας, θα χρειαζόταν περισσότερη ενέργεια για την εξώθηση των καυσαερίων στην επόμενη φάση της ανόδου του εμβόλου προς το ΑΝΣ.

Κατά την έναρξη της εξαγωγής των καυσαερίων, η πίεση στον κύλινδρο έχει πέσει στα 3 έως 6 bar περίπου. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία των καυσαερίων έχει φθάσει στους 450° έως 600° C.

Η βαλβίδα εξαγωγής, αφού παραμείνει ανοικτή σε όλη τη διαδρομή του εμβόλου από το ΚΝΣ έως το ΑΝΣ, κλείνει μερικές μοίρες μετά το ΑΝΣ (από 5° έως 15°) και ενώ έχει αρχίσει η φάση της εισαγωγής. Κατά τη φάση της ανόδου του εμβόλου η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου είναι λίγο πιο πάνω από την ατμοσφαιρική (περίπου 0,2 έως 0,3 bar). Για ένα διάστημα πριν και μετά το ΑΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής και η βαλβίδα εξαγωγής συμπίπτουν σε ανοικτή θέση. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο καλύτερος καθαρισμός του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Επιπρόσθετα, ψύχονται οι βαλβίδες και η κεφαλή του εμβόλου, ενώ καθαρίζεται και ο χώρος καύσεως από τα στερεά κατάλοιπα της καύσεως. Τελικά, επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής της μηχανής, καθώς και το διάστημα μεταξύ των απαραιτήτων επισκευών. Όμως εμφανίζονται και απώλειες καύσιμου μείγματος μέσα από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής. Η κίνηση των καυσαερίων προς την έξοδο δημιουργεί υποπίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου, η οποία διευκολύνει την είσοδο του μείγματος στον κύλινδρο, βελτιώνοντας την πλήρωσή του.

1.8 Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης βενζινομηχανής.

Η χρήση της δίχρονης βενζινομηχανής είναι περιορισμένη. Συναντάται κυρίως σε δίτροχα, μικρά ελικοφόρα αεροσκάφη και σε γεωργικές εφαρμογές. Η δίχρονη βενζινομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερεις μεν φάσεις (εισαγωγή, συμπίεση, καύση – εκτόνωση, εξαγωγή) αλλά, σε δύο χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ άνω και κάτω νεκρού σημείου), αντιστοιχώντας σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα (360° γωνίας στροφάλου). Αρχικά, θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων και των χρόνων λειτουργίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυσή τους. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, θα θεωρήσομε για ευκολία ότι έχομε μία μονοκύλινδρη μηχανή.

Η δίχρονη βενζινομηχανή δεν χρησιμοποιεί βαλβίδες για να ελέγχει την εισαγωγή του μείγματος αέρα-καυσίμου και την εξαγωγή των καυσαερίων. Οι αγωγοί εισόδου και εξόδου δεν καταλήγουν στο πώμα του κυλίνδρου αλλά στο κάτω μέρος των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, πλησίον του ΚΝΣ. Εκεί, μέσω καταλλήλων ***θυρίδων*** (οπών), εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, επικοινωνούν με το εσωτερικό του κυλίνδρου. Οι θυρίδες αυτές (για λόγους που θα αναλυθούν αργότερα) έχουν διαφορετικό ύψος και διαφορετική θέση, ανάλογα με τη λειτουργία τους ως θυρίδες εισαγωγής ή εξαγωγής.

Ο έλεγχος του ανοίγματος και του κλεισίματος των θυρίδων (άρα και της ροής του μείγματος αέρα - καυσίμου και των καυσαερίων) πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, λίγο πριν το ΚΝΣ αποκαλύπτει σταδιακά τις θυρίδες, επιτρέποντας τόσο τη ροή του μείγματος αέρα-καυσίμου από τον αγωγό εισαγωγής προς τον κύλινδρο όσο και των καυσαερίων από τον κύλινδρο προς τον αγωγό εξαγωγής. Αντίθετα, καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, κλείνει διαδοχικά τη θυρίδα εισαγωγής και εξαγωγής, στεγανοποιώντας τον κύλινδρο.

Μία άλλη σημαντική διαφορά της δίχρονης από την τετράχρονη βενζινομηχανή είναι η πρόσθετη χρησιμοποίηση του χώρου κάτω από το έμβολο, όπου κινείται ο διωστήρας και ο στρόφαλος (***στροφαλοθάλαμος***). Ενώ στην τετράχρονη βενζινομηχανή όλες οι λειτουργίες πραγματοποιούνται στο χώρο του κυλίνδρου μεταξύ του εμβόλου και του πώματος, στη δίχρονη βενζινομηχανή μερικές πρόσθετες (βοηθητικές) λειτουργίες πραγματοποιούνται στο χώρο του στροφαλοθαλάμου.

Η παλινδρομική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο μεταβάλλει τον όγκο του στροφαλοθαλάμου. Με την κάθοδο του εμβόλου προς το ΚΝΣ ο όγκος αυτός μειώνεται, ενώ με την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ ο όγκος αυτός αυξάνεται. Η μεταβολή του όγκου σε κλειστό χώρο συνοδεύεται από

αντίστροφη μεταβολή της πιέσεως. Έτσι με την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ η πίεση στο στροφαλοθάλαμο μειώνεται, ενώ με την κάθοδο του εμβόλου προς το ΚΝΣ η πίεση αυξάνεται. Η λειτουργία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο χώρος του στροφαλοθαλάμου μαζί με το κάτω τμήμα του εμβόλου να λειτουργήσει σαν μία αντλία για τη βεβιασμένη εισαγωγή του μείγματος στον κύλινδρο.

Η χρησιμοποίηση του στροφαλοθαλάμου εισάγει δύο επιπλέον (βοηθητικές) φάσεις στη λειτουργία της δίχρονης βενζινομηχανής, την ***προεισαγωγή*** και την ***προσυμπίεση***, οι οποίες (σε αντίθεση με τις τέσσερεις κύριες φάσεις) πραγματοποιούνται στο χώρο του στροφαλοθαλάμου. Ο στροφαλοθάλαμος επικοινωνεί με το περιβάλλον μέσω του ***αγωγού προεισαγωγής*** και της ***θυρίδας προεισαγωγής***. Η θυρίδα προεισαγωγής βρίσκεται τοποθετημένη σε χαμηλότερο επίπεδο από τη θυρίδα εξαγωγής. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της θυρίδας αυτής πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου, όπως συμβαίνει και στις υπόλοιπες θυρίδες. Ο στροφαλοθάλαμος επικοινωνεί με το χώρο καύσεως μέσω του ***εσωτερικού αγωγού εισαγωγής***, ο οποίος καταλήγει στη θυρίδα εισαγωγής (σχ. 1.8α).

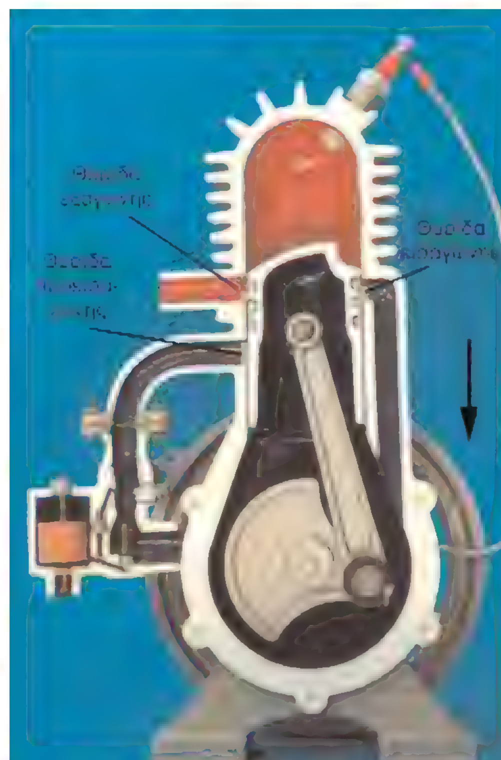
α) Καύση – Εκτόνωση.

Η ανάλυση των χρόνων και των φάσεων της δίχρονης βενζινομηχανής θα ξεκινήσει από τη φάση της καύσεως και εκτονώσεως, για λόγους ευκολότερης κατανοήσεως της λειτουργίας της και αφού έχει ήδη προηγηθεί η περιγραφή των αντιστοίχων φάσεων της τετράχρονης βενζινομηχανής και της αντίστοιχης δίχρονης πετρελαιομηχανής.

Η πρώτη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.8α). Το μείγμα αέρα - καυσίμου εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία λόγω της προηγηθείσας συμπιέσεως. Ο σπινθηριστής προκαλεί την έναυση του μείγματος, ενώ η φλόγα διαδίδεται ταχύτατα σε όλο τον όγκο του θαλάμου καύσεως. Η καύση του καυσίμου μείγματος απελευθερώνει ση-



Σχ. 1.8α.
Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ στην αρχή του πρώτου χρόνου και αρχίζει να κινείται προς το ΚΝΣ, λόγω της εκτονώσεως των καυσαερίων. Ταυτόχρονα είναι ανοικτή η θυρίδα προεισαγωγής στο στροφαλοθάλαμο.



Σχ. 1.8β.
Το έμβολο κατερχόμενο αρχίζει να αποκαλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής, αρχίζοντας τη φάση της εξαγωγής. Έχει ήδη κλείσει η θυρίδα προεισαγωγής και πραγματοποιείται η προσυμπίεση του μείγματος αέρα-καυσίμου εντός του στροφαλοθαλάμου.



Σχ. 1.8γ.
Με την προς τα κάτω κίνησή του το έμβολο αποκαλύπτει στη συνέχεια τη θυρίδα εισαγωγής, ξεκινά επομένως η αντίστοιχη φάση. Το προσυμπιεσμένο μείγμα θα εισέλθει από το στροφαλοθάλαμο στον κύλινδρο, ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή.



Σχ. 1.8δ.
Το έμβολο φτάνει στο ΚΝΣ στο τέλος του πρώτου χρόνου.

μαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ, μεταδίδοντας την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο. Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ, αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής, με αποτέλεσμα την έναρξη της φάσεως εξαγωγής (σχ. 1.8β). Η φάση της εκτονώσεως είναι και η ενεργή φάση του κύκλου. Ένα τμήμα του έργου που παράγεται, αποθηκεύεται στο σφόνδυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

β) Εξαγωγή καυσαερίων.

Η δεύτερη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται λίγο πριν το ΚΝΣ, τη στιγμή που αρχίζει να αποκαλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής (σχ. 1.8β). Λόγω της υψηλότερης πιέσεως που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοικτή θυρίδα εξαγωγής και τον αγωγό των καυσαερίων. Παράλληλα, η εκτόνωση των καυσαερίων συνεχίζει να παράγει έργο στο έμβολο μέχρι το ΚΝΣ (σχ. 1.8δ), επειδή η πίεση μέσα στον κύλινδρο δεν πέφτει ακαριαία με το άνοιγμα των θυρίδων. Καθώς το κινούμενο προς το ΚΝΣ έμβολο αποκαλύπτει σταδιακά και τη θυρίδα εισαγωγής (αφού έχει πέσει αρκετά η πίεση εντός του κυλίνδρου), αρχίζει ταυτόχρονα, η φάση της εισαγωγής του καυσίμου μείγματος (σχ. 1.8γ). Συνεπώς, για κάποιο χρονικό διάστημα, οι φάσεις εξαγωγής των καυσαερίων και οι φάσεις εισαγωγής του μείγματος αέρα-καυσίμου πραγματοποιούνται ταυτόχρονα.

Με την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ κλείνει η θυρίδα εξαγωγής ολοκληρώνοντας την αντίστοιχη φάση (σχ. 1.8στ).

γ) Εισαγωγή – Σάρωση.

Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με την αποκάλυψη της θυρίδας εισαγωγής – σαρώσεως λίγο μετά την αποκάλυψη της θυρίδας εξαγωγής (σχ. 1.8γ). Η φάση ολοκληρώνεται με το πλήρες κλείσιμο της θυρίδας κατά την άνοδο του εμβόλου από το ΚΝΣ προς

το ΑΝΣ (σχ. 1.8ε). Για να είναι δυνατή η εισαγωγή του καυσίμου μείγματος πρέπει να έχει πέσει αρκετά η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου. Έτσι δικαιολογείται η διαφορετική θέση της θυρίδας εξαγωγής, ώστε αυτή να αποκαλύπτεται νωρίτερα από το έμβολο.

Το εισερχόμενο μείγμα καθαρίζει το χώρο καύσεως, ***σαρώνοντας*** τον κύλινδρο και ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Ενώ η λειτουργία αυτή θα περατωθεί με το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής, η φάση της εξαγωγής θα συνεχιστεί για ένα μικρό χρονικό διάστημα ακόμη.

Η απαραίτητη ενέργεια για την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ μέχρι το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής και εξαγωγής, παρέχεται από το σφόνδυλο.

δ) Συμπίεση.

Η φάση της συμπιέσεως ξεκινά με το έμβολο να κλείνει εντελώς τη θυρίδα εξαγωγής, κατά την άνοδό του προς το ΑΝΣ (σχ. 1.8στ). Ανερχόμενο το έμβολο μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου μείγματος αέρα-καυσίμου μαζί με τη θερμοκρασία του. Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ο όγκος του καυσίμου μείγματος έχει περιορισθεί στον επιζήμιο όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου (θάλαμος καύσεως). Η συμπίεση ολοκληρώνεται χρονικά με το έμβολο να φτάνει στο ΑΝΣ (σχ. 1.8η).

Το έμβολο κινείται κατά τη φάση της συμπιέσεως αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας της δίχρονης βενζινομηχανής απαιτείται η πρόσθετη περιγραφή των βοηθητικών λειτουργιών της προεισαγωγής και της προσυμπιέσεως του καυσίμου μείγματος εντός του στροφαλοθαλάμου. Η αναλυτική περιγραφή τους θα γίνει στη συνέχεια.

1.8.1 Πραγματική λειτουργία δίχρονης βενζινομηχανής.

Η πραγματική λειτουργία της δίχρονης βενζινομηχανής διαφέρει ελάχιστα από την προαναφερθείσα στοιχειώδη λειτουργία, λόγω της δεδομένης θέσεως και γεωμετρίας κατασκευής τόσο της θυρίδας εισαγωγής όσο και της εξαγωγής, επί του χιτωνίου.



Σχ. 1.8ε.
Με την άνοδό του προς το ΑΝΣ το έμβολο κλείνει πρώτα τη θυρίδα εισαγωγής, κάτι που σημαίνει τη λήξη της αντίστοιχης φάσεως.

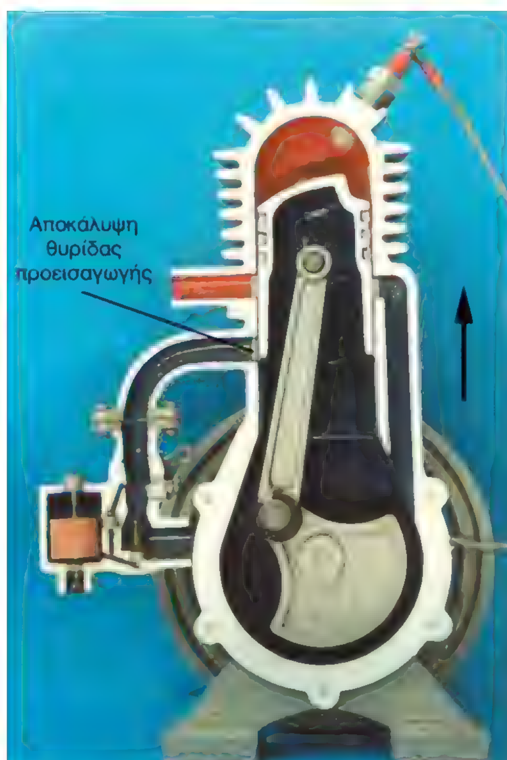


Σχ. 1.8στ.
Με το κλείσιμο της θυρίδας εξαγωγής τελειώνει η αντίστοιχη φάση και αρχίζει η συμπίεση του μείγματος εντός του κυλίνδρου. Με την άνοδο του εμβόλου αυξάνεται ο όγκος του στροφαλοθαλάμου, δημιουργώντας υποπίεση.

Κατά τη λειτουργία της δίχρονης βενζινομηχανής σημαντικό ρόλο παίζει η πίεση του μείγματος αέρα-καυσίμου κατά τη φάση της εισαγωγής. Η πίεση αυτή πρέπει να είναι πάντα υψηλότερη της πιέσεως των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου κατά την αντίστοιχη φάση. Μόνο τότε θα μπορέσει το νεοεισερχόμενο μείγμα να ωθήσει τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου προς τον αγωγό εξαγωγής (απόπλυση κυλίνδρου).

Για την αύξηση της πιέσεως του μείγματος αέρα - καυσίμου χρησιμοποιείται η φάση προεισαγωγής και προσυμπιέσεως, εντός του χώρου του στροφαλοθαλάμου. Καθώς το έμβολο ανέρχεται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ ο όγκος του στροφαλοθαλάμου αυξάνει συνεχώς, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση στο εσωτερικό του. Με την άνοδό του αποκαλύπτει τη θυρίδα προεισαγωγής (σχ. 1.8ζ). Τη στιγμή αυτή η πίεση εντός του στροφαλοθαλάμου είναι κατά 0,2 έως 0,4 bar περίπου μικρότερη της ατμοσφαιρικής. Συνεπώς το μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στο στροφαλοθάλαμο, καταλαμβάνοντας τον όγκο του ανερχόμενου εμβόλου. Όταν το έμβολο μετά το ΑΝΣ αρχίσει να κατέρχεται, η προεισαγωγή συνεχίζεται λόγω της μικρότερης πιέσεως εντός του στροφαλοθαλάμου και της αδράνειας του καυσίμου μείγματος. Η φάση της προεισαγωγής ολοκληρώνεται με το κλείσιμο της θυρίδας προεισαγωγής κατά την κάθοδο του εμβόλου, οπότε ξεκινά η φάση της προσυμπιέσεως. Η πίεση εντός του στροφαλοθαλάμου τη στιγμή αυτή είναι λίγο μικρότερη της ατμοσφαιρικής, εξαρτάται όμως και από τον αριθμό στροφών της μηχανής.

Με τη συνεχιζόμενη κάθοδο του εμβόλου ο όγκος του στροφαλοθαλάμου μειώνεται συνεχώς, αυξάνοντας την πίεση του καυσίμου μείγματος. Τη στιγμή αποκαλύψεως της θυρίδας σαρώσεως (η οποία επικοινωνεί με το χώρο του στροφαλοθαλάμου μέσω εσωτερικού αγωγού) το συμπιεσμένο μείγμα βρίσκει διέξοδο προς τον κύλινδρο της μηχανής (σχ. 1.8γ). Η πίεση στο στροφαλοθάλαμο έχει φτάσει τα 1,3 έως 1,8 bar. Για το υπόλοιπο τμήμα της διαδρομής μέχρι το ΚΝΣ εκτελείται ταυτόχρονα προσυμπίεση του μείγματος εντός του στροφαλοθαλάμου και σάρωση των καυσαερίων εντός του κυλίν-



Σχ. 1.8ζ.
Με την άνοδο του εμβόλου αποκαλύπτεται η θυρίδα προεισαγωγής και μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στο στροφαλοθάλαμο λόγω της υποπιέσεως που προκαλεί η άνοδος του εμβόλου.



Σχ. 1.8η.
Λίγο πριν το ΑΝΣ πραγματοποιείται η έναυση του σπινθήρα για την έναρξη της φάσεως της καύσεως. Με την άνοδο του εμβόλου στο ΑΝΣ τελειώνει και ο δεύτερος χρόνος λειτουργίας.

δρου, ωθουμένων από το προσυμπιεσμένο μείγμα.

Με την έναρξη ανόδου του εμβόλου προς το ΑΝΣ η πίεση στο στροφαλοθάλαμο μειώνεται, λόγω της αυξήσεως του όγκου. Όμως το μείγμα αέρα-καυσίμου συνεχίζει την κίνησή του προς τον κύλινδρο λόγω αδράνειας, έως το πλήρες κλείσιμο της θυρίδας σαρώσεως.

Επειδή ο όγκος του στροφαλοθαλάμου είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον όγκο που σαρώνει το έμβολο, ο λόγος συμπιέσεως του μείγματος είναι σχετικά μικρός, οπότε δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλές πιέσεις σαρώσεως.

Στη συνέχεια θα αναλυθεί η πραγματική λειτουργία στους δύο χρόνους (διαδρομές του εμβόλου) που την απαρτίζουν, ακολουθώντας διαφορετική προσέγγιση από την ανάπτυξη της στοιχειώδους λειτουργίας, όπως έγινε και για τη δίχρονη πετρελαιομηχανή.

α) Πρώτος χρόνος.

Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, ενώ η καύση βρίσκεται σε εξέλιξη, έχοντας ήδη ξεκινήσει από τον προηγούμενο χρόνο (σχ. 1.8α). Τα θερμά καυσαέρια εκτονώνονται ωθώντας το έμβολο. Ταυτόχρονα με την παραπάνω λειτουργία, στο χώρο του στροφαλοθαλάμου εκτελούνται δύο παράλληλες βοηθητικές λειτουργίες, η προεισαγωγή και στη συνέχεια (με το κλείσιμο της αντίστοιχης θυρίδας) η προσυμπίεση του μείγματος αέρα-καυσίμου.

Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ, αρχίζει να αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής, ενώ η πίεση των καυσαερίων τη στιγμή αυτή είναι της τάξεως των 3 bar περίπου. Με τη συνεχιζόμενη κάθοδο του εμβόλου, η πίεση μέσα στον κύλινδρο συνεχώς πέφτει και φθάνει λίγο πιο πάνω από την ατμοσφαιρική (περίπου 1,2 bar) τη στιγμή που αρχίζει να αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής – σαρώσεως.

Το μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στον κύλινδρο μέσω του εσωτερικού αγωγού εισαγωγής, με πίεση μεγαλύτερη της πιέσεως των καυσαερίων. Λόγω του ειδικού σχήματος της θυρίδας και της κεφαλής του εμβόλου το μείγμα ακολουθεί συγκεκριμένη πορεία, ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή, αποπλένοντας τον κύλινδρο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης βενζινομηχανής και περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:

– Ολοκλήρωση καύσεως,
– εκτόνωση καυσαερίων,
– ολοκλήρωση προεισαγωγής μείγματος στο στροφαλοθάλαμο,
– προσυμπίεση μείγματος,
– έναρξη εξαγωγής καυσαερίων,
– έναρξη εισαγωγής μείγματος στον κύλινδρο.

β) Δεύτερος χρόνος.

Ο δεύτερος χρόνος ξεκινά με το έμβολο να κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ (σχ. 1.8δ). Η εξαγωγή των καυσαερίων και η εισαγωγή του μείγματος αέρα-καυσίμου βρίσκονται σε εξέλιξη, με το εισερχόμενο μείγμα να ωθεί τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Η είσοδος του μείγματος συνεχίζεται μέχρι το σημείο που κλείνει πρώτα η θυρίδα σαρώσεως. Στη συνέχεια και για όσο διάστημα η θυρίδα εξαγωγής παραμένει ακόμα ανοικτή, μαζί με τα καυσαέρια εξέρχεται και μέρος του καυσίμου μείγματος. Τη στιγμή που το έμβολο καλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής και αρχίζει η συμπίεση πρέπει εντός του κυλίνδρου να υπάρχει η ελάχιστη δυνατή ποσότητα καυσαερίων.

Με τη συνεχιζόμενη άνοδο του εμβόλου αποκαλύπτεται η θυρίδα προεισαγωγής και αρχίζει η προεισαγωγή του μείγματος στο στροφαλοθάλαμο.

Λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ο σπινθηριστής αναφλέγει το μείγμα αέρα-καυσίμου. Η χρονική στιγμή της εναύσεως του μείγματος εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής και είναι η κατάλληλη ώστε η μέγιστη πίεση από την καύση του μείγματος να επιτυγχάνεται λίγο μετά το ΑΝΣ. Κατ’ αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η πλήρης εκμετάλλευση της διαδρομής του εμβόλου. Πρόωρη ανάφλεξη του μείγματος προκαλεί ισχυρή αντίσταση στην άνοδο του εμβόλου κατά την τελική φάση της συμπιέσεως, με αποτέλεσμα να αφαιρείται πολύτιμο έργο από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ αποτελεί το δεύτερο και τελευταίο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης βενζινομηχανής, περιλαμβάνοντας τις ακόλουθες φάσεις:

– Ολοκλήρωση εισαγωγής του μείγματος στον κύλινδρο,
– ολοκλήρωση εξαγωγής και σαρώσεως καυσαερίων,
– τέλος προσυμπιέσεως,
– έναρξη προεισαγωγής του μείγματος στο στροφαλοθάλαμο,
– συμπίεση,
– έναρξη της καύσεως.

Κεφάλαιο Δεύτερο

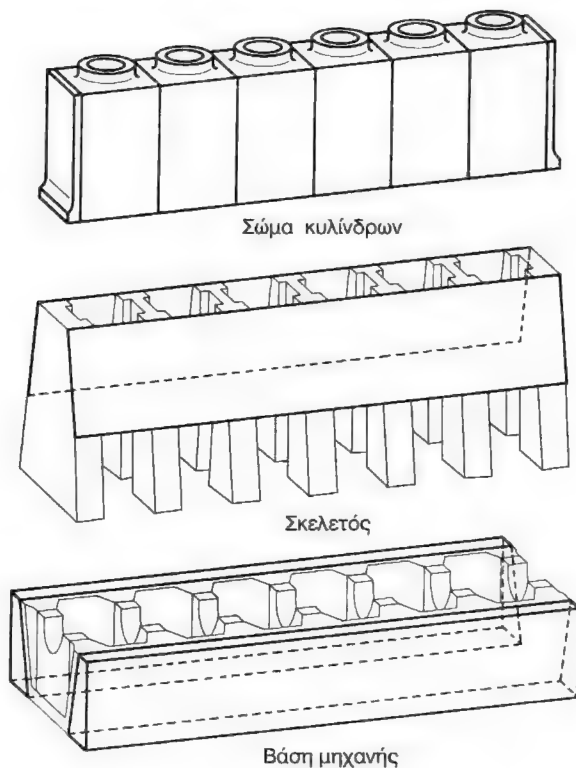


ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν με συντομία τα κύρια τμήματα που απαρτίζουν μια εμβολοφόρο ΜΕΚ. Η ανάπτυξη αναφέρεται κυρίως στις ναυτικές πετρελαιομηχανές. Αναλυτικότερη περιγραφή των συγκροτημάτων κι εξαρτημάτων των ΜΕΚ θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

2.1 Κορμός μηχανής.

Ο κορμός της μηχανής περιλαμβάνει το ***σκελετό***, τη ***βάση*** πάνω στην οποία στηρίζεται το ***σώμα των κυλίνδρων*** (σχ. 2.1α) και τους ***συνδέτες*** (συνδετήριους κοχλίες - εντατήρες), που συνδέουν τα τμήματα αυτά μεταξύ τους.

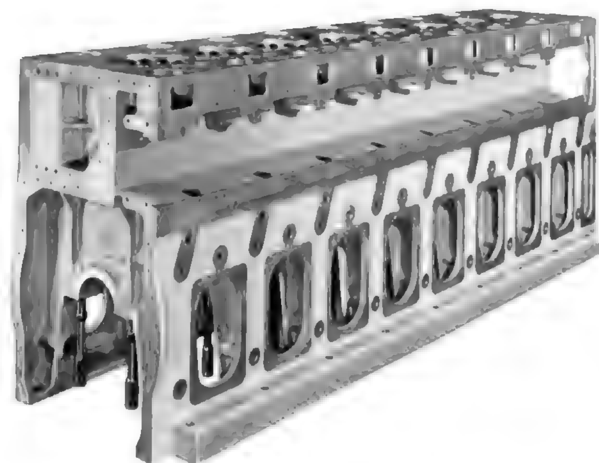


Σχ. 2.1α.
Δομικά στοιχεία μεγάλης δίχρονης αργόστροφης εξακύλινδρης πετρελαιομηχανής.

2.1.1 Σκελετός (engine frame).

Ο σκελετός αποτελεί το κύριο τμήμα του κινητήρα, πάνω στον οποίο προσαρμόζονται όλα τα υπόλοιπα τμήματα και τα βασικά εξαρτήματα της μηχανής. Στις μεσόστροφες και ταχύστροφες μηχανές έχει κιβωτιοειδή μορφή και κατασκευάζεται με χύτευση από χυτοσίδηρο. Σ' αυτού του τύπου τις μηχανές ο σκελετός αποτελεί ενιαίο τμήμα με το σώμα των κυλίνδρων (κατασκευή monoblock) (σχ. 2.1β), ενώ με την κάτω πλευρά του συνδέεται η ελαιολεκάνη (carter).

Αντίθετα, στις μεγάλες αργόστροφες μηχανές ο σκελετός κατασκευάζεται από ηλεκτροσυγκολλημένα χαλύβδινα ελάσματα. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση του βάρους μέχρι και 40%,



Σχ. 2.1β.
Χυτός σκελετός μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, ενιαίου τύπου, με ενσωματωμένο το σώμα των κυλίνδρων.

μείωση του όγκου και αύξηση της αντοχής. Φέρει στα πλευρά του ανοίγματα, όπου προσαρμόζονται ***ανθρωποθυρίδες προσπελάσεως*** (access doors) και ***βαλβίδες ασφαλείας*** (explosion doors). Στο άνω μέρος του σκελετού τοποθετούνται οι κύλινδροι, ενώ το κάτω μέρος του στηρίζεται στη βάση της μηχανής. Για το λόγο αυτό φέρει ισχυρές προεξοχές στηρίξεως στα σημεία εδράσεως (σχ. 2.1γ και 2.1ε).

Η σύνδεση κυλίνδρων, σκελετού και βάσεως γίνεται με ειδικούς κοχλίες μεγάλου μήκους και μεγάλης ελαστικότητας (κοχλίες ελαστικής μηκύνσεως), οι οποίοι ονομάζονται ***συνδέτες*** ή ***εντατήρες***.

Ανάλογα με τη διάταξη των κυλίνδρων, οι κινητήρες και κατ' επέκταση ο σκελετός τους διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες (σχ. 2.1δ):

α) ***Διάταξη εν σειρά*** (in-line engine), στην οποία οι κύλινδροι τοποθετούνται κατακόρυφα, διαδοχικά και στο ίδιο επίπεδο (σχ. 2.1γ). Στις μεγάλες μηχανές ο σκελετός ονομάζεται τύπου Α, λόγω της χαρακτηριστικής μορφής των εγκαρσίων διαφραγμάτων του.

β) ***Διάταξη τύπου V*** (vee engine), στην οποία οι κύλινδροι τοποθετούνται σε δύο επίπεδα, που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία και δίνουν στο σκελετό της μηχανής το χαρακτηριστικό σχήμα του λατινικού γράμματος V (σχ. 2.1ε).

γ) ***Διάταξη αντιτιθεμένων κυλίνδρων*** (boxer - opposed cylinder engine), στην οποία οι κύλινδροι βρίσκονται αντίθετα τοποθετημένοι πάνω στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο. Ο τύπος αυτός συναντιέται αποκλειστικά σε βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων και αεροσκαφών. Το υλικό κατασκευής του σκελετού αποτελούν κράματα αλουμινίου.

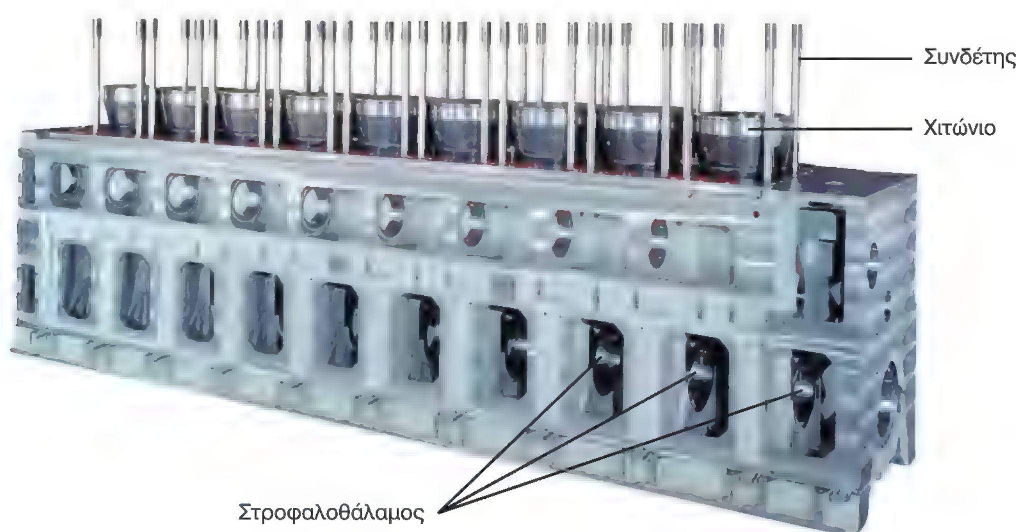
δ) ***Αστεροειδής διάταξη*** (radial engine), στην οποία οι κύλινδροι τοποθετούνται ακτινικά, σε ένα ή περισσότερα επίπεδα, με κέντρο το στροφαλοφόρο άξονα. Σχηματίζουν έτσι ένα είδος αστέρα. Η διάταξη αυτή συναντιέται αποκλειστικά σε παλαιότερους αεροπορικούς κινητήρες.

Οι δύο πρώτοι από τους παραπάνω τύπους έχουν επικρατήσει ολοκληρωτικά στις ναυτικές μηχανές, ανεξάρτητα από το μέγεθος και την ιπποδύναμη.

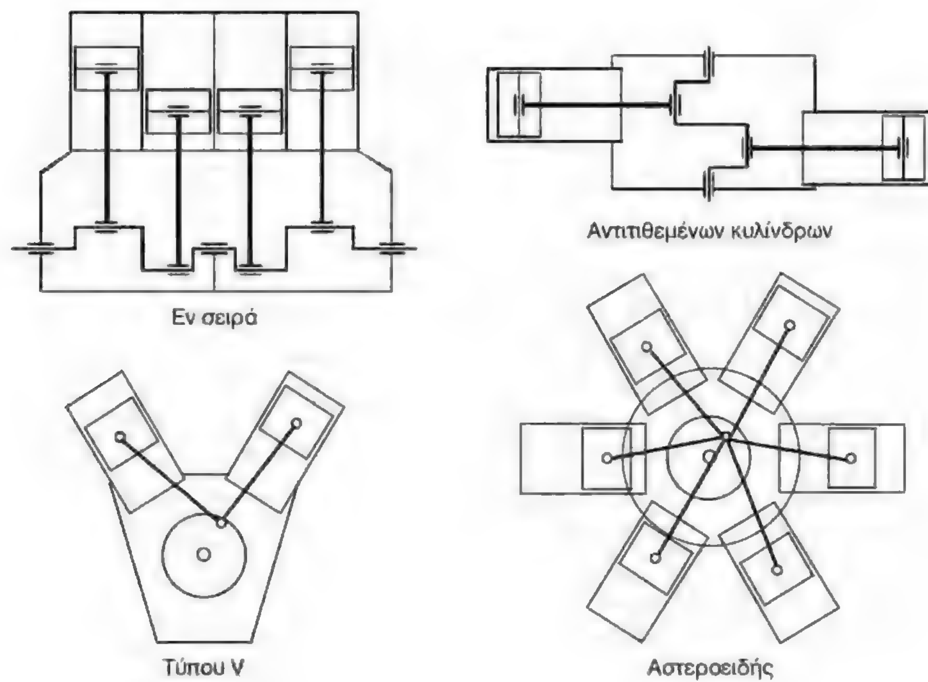
2.1.2 Βάση (bedplate).

Η ***βάση*** ως τμήμα εμφανίζεται μόνο στις μεγάλες μηχανές. Πάνω στη βάση χτίζεται όλη η υπόλοιπη μηχανή (σχ. 2.1α). Έχει κιβωτιοειδή μορφή και απαρτίζεται από δύο διαμήκεις δοκούς, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με εγκάρσιους δοκούς και διάτρητα διαφράγματα (για τη μείωση του βάρους και την ελεύθερη κυκλοφορία του λιπαντικού). Κατασκευάζεται από ηλεκτροσυγκολλημένα χαλύβδινα ελάσματα, που προσδίδουν στην όλη δομή την απαραίτητη ακαμψία με το ελάχιστο δυνατό βάρος. Η βάση στερεώνεται στο δάπεδο του μηχανοστασίου με ειδικές εδράσεις. Στο κάτω τμήμα της είναι κλειστή, σχηματίζοντας την ***ελαιολεκάνη***.

Οι εγκάρσιοι δοκοί είναι κατάλληλα διαμορφωμένοι, έτσι ώστε να μπορούν να υποδεχθούν το κάτω ήμισυ των εδράνων στηρίξεως του στροφαλοφόρου άξονα. Το επάνω ήμισυ των εδράνων στηρίξεως τοποθετείται στο κάτω μέρος του σκελετού. Μετά τη συναρμολόγηση της βάσεως και του σκελετού σχη-



Σχ. 2.1γ.
Σκελετός εννεακύλινδρης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής από χυτοσίδηρο, ενιαίου τύπου, όπου διακρίνονται καθαρά ο στροφαλοθάλαμος, τα χιτώνια και οι συνδέτες (διάταξη εν σειρά).



Σχ. 2.1δ.
Διατάξεις κυλίνδρων διαφόρων τύπων εμβολοφόρων ΜΕΚ.



Σχ. 2.1ε.
Σκελετός δωδεκακύλινδρης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής τύπου V από χυτοσίδηρο. Διακρίνονται οι θυρίδες προσπελάσεως στο κάτω μέρος, τα χιτώνια και οι κοχλίες συνδέσεως των χιτωνίων με την κεφαλή τους (διάταξη V).

ματίζεται στο εσωτερικό τους ένας ενιαίος χώρος, που περικλείει το στροφαλοφόρο άξονα και ονομάζεται ***στροφαλοθάλαμος*** (crankcase).

Στις μεσόστροφες και ταχύστροφες πετρελαιομηχανές η βάση δεν αποτελεί ξεχωριστό τμήμα της μηχανής. Στη θέση της υπάρχει η ελαιολεκάνη, ενώ ο σκελετός στηρίζεται κατευθείαν σε δύο ανεξάρτητους διαμήκεις δοκούς εδράσεως.

2.1.3 Σώμα κυλίνδρων (cylinder block).

Το ***σώμα των κυλίνδρων*** είναι το δομικό στοιχείο της μηχανής που περικλείει τους κυλίνδρους και συνδέεται με το άνω μέρος του σκελετού (σχ. 2.1α). Στις μικρές και μεσαίου μεγέθους μηχανές αποτελεί ενιαίο τμήμα με το σκελετό (σχ. 2.1γ και 2.1ε), ενώ συχνά οι κύλινδροι είναι διαμορφωμένοι επάνω στο ίδιο τεμάχιο. Στις μεγάλες μηχανές το σώμα των κυλίνδρων περιβάλλει και στηρίζει τα χιτώνια, τα οποία σχηματίζουν τους κυλίνδρους της μηχανής.

Το σώμα των κυλίνδρων είναι μια σχετικά πολύπλοκη κατασκευή, που περιλαμβάνει εκτός από τους κυλίνδρους, τους θαλάμους κυκλοφορίας του νερού ψύξεως (υδροχιτώνια - υδροθάλαμοι) και τμήμα των αγωγών κυκλοφορίας του λαδιού.

Στις αργόστροφες μηχανές, το σώμα των κυλίνδρων κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή από συγκολλημένα χαλύβδινα ελάσματα σε συναρμολογούμενα τμήματα. Τα τμήματα αυτά περιέχουν ένα ή περισσότερα χιτώνια κυλίνδρων. Στις μικρότερες μηχανές το σώμα των κυλίνδρων αποτελεί ενιαίο χυτό τμήμα (κατασκευή monoblock).

Το σώμα των κυλίνδρων στους μικρούς κινητήρες μπορεί να είναι υδρόψυκτο ή αερόψυκτο, με χιτώνια ή χωρίς. Στην περίπτωση που ο κινητήρας είναι αερόψυκτος, τότε το σώμα των κυλίνδρων φέρει εξωτερικά πτερύγια ψύξεως. Στις μικρές μηχανές χωρίς χιτώνια οι κύλινδροι καταπονούνται από τις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες της καύσεως και από ισχυρές θερμικές τάσεις, εξαιτίας της ταχείας αλλαγής της θερμοκρασίας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η τριβή με το έμβολο προκαλεί αυξημένες φθορές στην εσωτερική τους επιφάνεια. Συνεπώς, οι κύλινδροι αυτοί πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή και ακαμψία, καλή θερμοαγωγιμότητα και ελάχιστη θερμική διαστολή. Για τους παραπάνω λόγους το σώμα των κυλίνδρων κατασκευάζεται από ειδικό χυτοσίδηρο (χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη - nodular cast iron) ή από κράματα αλουμινίου (αεροπορικοί κινητήρες, κινητήρες αυτοκινήτων και διτρόχων).

Στις μικρές μηχανές το σώμα των κυλίνδρων με την επάνω επιφάνεια του εμβόλου και την κάτω επιφάνεια του πώματος των κυλίνδρων ορίζουν τους χώρους καύσεως.

2.1.4 Συνδέτες (tie rods).

Οι ***συνδέτες*** είναι κοχλίες μεγάλου μήκους (κοχλίες ελαστικής μηκύνσεως), οι οποίοι συνδέουν το σώμα των κυλίνδρων, το σκελετό και τη βάση της μηχανής (σχ. 2.1γ, 2.1ε και 2.1στ). Είναι μάλιστα ομοιόμορφα κατανεμημένοι, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή παραλαβή των τάσεων από την καύση και από την παλινδρομική κίνηση των μαζών. Λόγω των ταλαντώσεων οι συνδέτες βρίσκονται πάντα κάτω από ισχυρή σύσφιγξη (προένταση). Το περικόχλιο δεν φέρει ποτέ ασφαλιστικό δακτύλιο (ροδέλα) για να μην μειώνεται η προένταση. Για τη σύσφιγξη ή τη χαλάρωση των συνδετών χρησιμοποιούνται ειδικά υδραυλικά εργαλεία σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Στις μικρές μηχανές χρησιμοποιούνται για τη σύσφιγξη ειδικά χειροκίνητα ροπόκλειδα.

Κατά την αφαίρεση και επανατοποθέτηση των συνδετών λιπαίνονται πάντα τα σπειρώματά τους, ενώ ελέγχεται και η προέντασή τους.

2.2 Χιτώνια (cylinder liners).

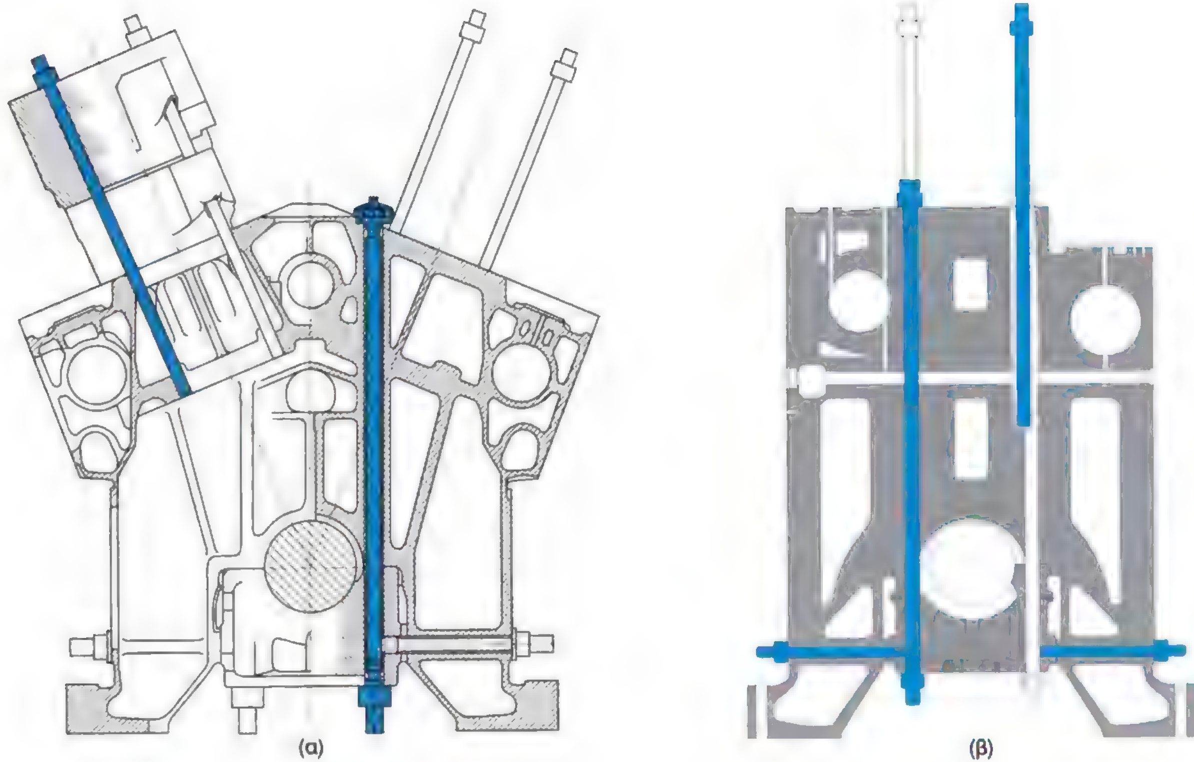
Το ***χιτώνιο*** είναι το κυλινδρικής διατομής τμήμα της μηχανής, εντός του οποίου παλινδρομεί το έμβολο. Στους σκελετούς ενιαίου τύπου τα χιτώνια τοποθετούνται εντός του σώματος των κυλίνδρων ή εντός του σκελετού της μηχανής (σχ. 2.1γ και 2.1ε). Η διαιρετή αυτή κατασκευή προσφέρει το πλεονέκτημα της εύκολης αντικαταστάσεως σε περίπτωση φθοράς.

Τα χιτώνια κατασκευάζονται από ειδικά κράματα φαιού χυτοσιδήρου (με απλή ή φυγοκεντρική χύτευση), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγάλη αντοχή στις πιέσεις και αντίσταση στη φθορά από την παλινδρόμηση του εμβόλου και τη χρήση βαρέος πετρελαίου. Η καταπόνηση των χιτωνίων είναι σύνθετη και περιοδικά μεταβαλλόμενη, με ισχυρότερες τις εφελκυστικές τάσεις λόγω των εσωτερικών πιέσεων. Η κατασκευή τους μπορεί να είναι ενιαία ή διαιρετή, έτσι ώστε τα τμήματα που φθείρονται περισσότερο (στην περιοχή του ΑΝΣ), να αντικαθίστανται (σχ. 2.2α).

Τα χιτώνια διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Στα ***υγρά*** (υδροχιτώνια) (σχ. 2.2α, 2.2β και 2.2γ) και
- στα ***ξηρά*** που χρησιμοποιούνται σε μηχανές μικρής ισχύος.

Στα υγρά το ψυκτικό υγρό έρχεται σε άμεση επαφή με το χιτώνιο, είτε διαβρέχοντάς το εξωτερικά



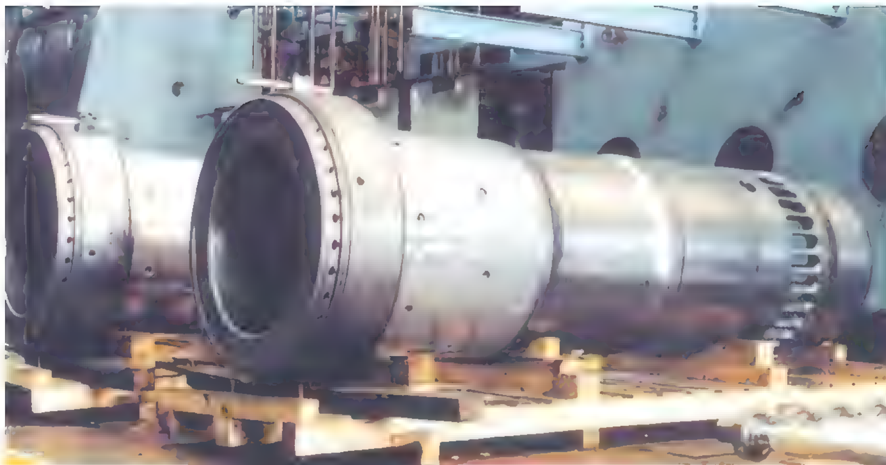
Σχ. 2.1στ.
Συνδέτες πετρελαιομηχανών, τύπου V (α) και εν σειρά (β).



Σχ. 2.2α.
Υδροχιτώνιο τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα με εσωτερικό αφαιρούμενο δακτύλιο στην περιοχή των υψηλών καταπονήσεων του ΑΝΣ.



Σχ. 2.2β.
Υδροχιτώνιο τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα με εσωτερικούς αγωγούς ψύξεως στο άνω τμήμα του και εξωτερική ψύξη στο κάτω τμήμα.



Σχ. 2.2γ.

Χιτώνια μεγάλης δίχρονης πετρελαιομηχανής με εσωτερική διάμετρο κυλίνδρου 84 cm και διαδρομή εμβόλου 315 cm.

(ρέοντας στο χώρο ανάμεσα στο χιτώνιο και τον περιχιτώνιο θάλαμο του σώματος των κυλίνδρων) (σχ. 2.2α), είτε ψύχοντάς το με εσωτερικούς αγωγούς (κυρίως στο άνω τμήμα του) (σχ. 2.2β). Τα ξηρά χιτώνια δεν έρχονται σε επαφή με το ψυκτικό υγρό. Τοποθετούνται με πίεση μέσα στον περιχιτώνιο θάλαμο του σώματος των κυλίνδρων. Η ψύξη επιτυγχάνεται με αγωγή θερμότητας προς το ψυχόμενο σώμα των κυλίνδρων. Στα υγρού τύπου χιτώνια, η στεγανοποίηση στην κορυφή τους επιτυγχάνεται με κατάλληλη επεξεργασία των επιφανειών επαφής χιτωνίου - περιχιτωνίου. Στο κατώτερο μέρος η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με τη χρήση δακτυλίων από συνθετικό υλικό. Κατά την τοποθέτησή του το χιτώνιο ευθυγραμμίζεται με τη βοήθεια ειδικού οδηγού (ευθυντηρίας), διαμορφωμένου στο σκελετό της μηχανής.

Στις βενζινομηχανές δεν χρησιμοποιούνται συνήθως χιτώνια, ενώ ο κύλινδρος διαμορφώνεται με ειδική κατεργασία λειάνσεως κατ' ευθείαν στο σώμα του κινητήρα.

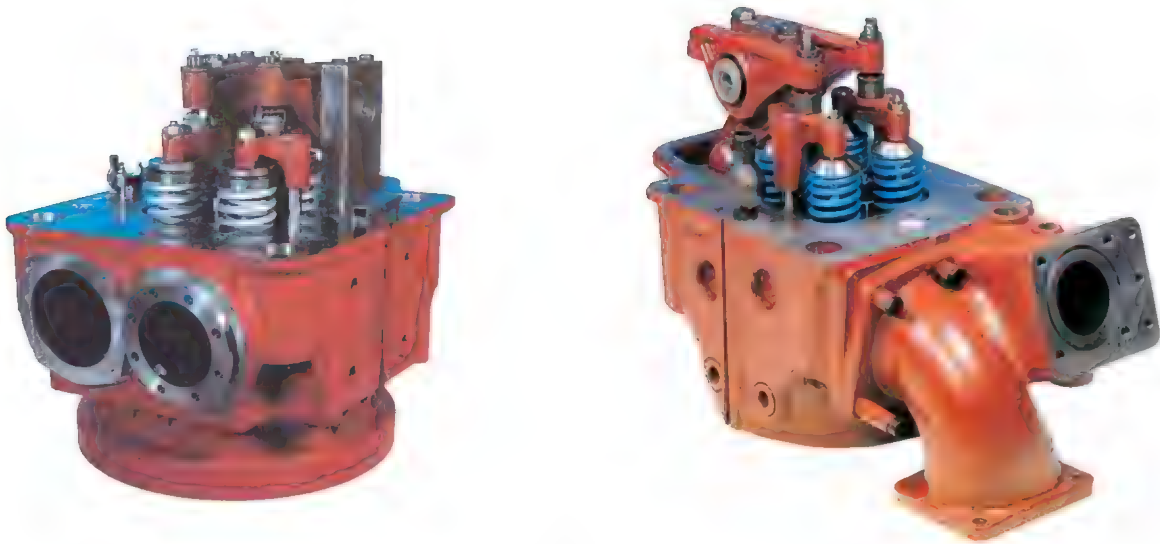
2.3 Κεφαλή (πώμα) κυλίνδρων (cylinder head).

Η ***κεφαλή*** (πώμα - καπάκι) των κυλίνδρων προσαρμόζεται στο επάνω μέρος των χιτωνίων (ή του κορμού σε μηχανές μικρής ισχύος), σχηματίζοντας μαζί με τα χιτώνια και το επάνω μέρος του εμβόλου το χώρο, όπου πραγματοποιείται η καύση. Μπορεί να είναι ολόσωμη (μηχανές μικρής ισχύος) ή διαιρούμενη, δηλαδή κάθε κύλινδρος να έχει τη δική του κεφαλή (σχ. 2.3α). Συνδέεται με το άνω τμήμα του κορμού της μηχανής με τη βοήθεια φυτευτών κοχλιών ελαστικής μηκύνσεως (μπουζόνια). Η σύσφιγξη των κοχλιών γίνεται με ειδική σειρά και προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή ροπή με τη χρήση ειδικών δυναμοδεικτικών κλειδιών (ροπόκλειδα) ή ειδικών υδραυλικών διατάξεων. Μεταξύ του σώματος (ή των χιτωνίων) και της κεφαλής των κυλίνδρων παρεμβάλλεται ένα ειδικό παρέμβυσμα (φλάντζα κεφαλής) για την εξασφάλιση πλήρους στεγανότητας. Σε πολλές μηχανές, η εσωτερική διαμόρφωση της κεφαλής σχηματίζει εξ ολοκλήρου το θάλαμο καύσεως, ενώ το έμβολο στη θέση του ΑΝΣ συμπίπτει με το σημείο που τελειώνει το χιτώνιο.

Στην κεφαλή των βενζινομηχανών βρίσκονται οι βαλβίδες εισαγωγής του καυσίμου μείγματος κι εξαγωγής των καυσαερίων (στις τετράχρονες μηχανές) μαζί με τα συστήματα κινήσεώς τους, ο αναφλεκτήρας (μπουζί), ο εκκεντροφόρος άξονας (σε ορισμένες μηχανές), καθώς και τμήμα των αγωγών εισαγωγής κι εξαγωγής. Το εσωτερικό μέρος της κεφαλής είναι κατασκευασμένο με κατάλληλες κοιλότητες. Σχηματίζονται έτσι οι απαραίτητοι υδροθάλαμοι και αγωγοί νερού για την ψύξη της κεφαλής, ενώ επιτυγχάνεται η επικοινωνία με τους αντίστοιχους υδροθαλάμους του σώματος των κυλίνδρων.

Στην κεφαλή των τετραχρόνων πετρελαιομηχανών βρίσκονται οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ο εγχυτήρας (μπεκ) του πετρελαίου, η βαλβίδα του αέρα εκκινήσεως, η ασφαλιστική βαλβίδα προς αποφυγή υπερπιέσεως καθώς και ο δυναμοδεικτικός κρουνός για τη λήψη διαγραμμάτων και τον έλεγχο της καύσεως. Η ψύξη της κεφαλής πραγματοποιείται, όπως και στις υδρόψυκτες βενζινομηχανές, με κατάλληλους εσωτερικούς αγωγούς, που επικοινωνούν με τους αντίστοιχους αγωγούς του σώματος των κυλίνδρων (σχ. 2.3β).

Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές, απουσιάζουν οι βαλβίδες εισαγωγής, ενώ οι βαλβίδες εξαγωγής



Σχ. 2.3α.
Κεφαλές κυλίνδρων μεσοστρόφων τετραχρόνων πετρελαιομηχανών.

συναντώνται συνήθως σε όλες τις αργόστροφες πετρελαιομηχανές μεγάλης ισχύος.

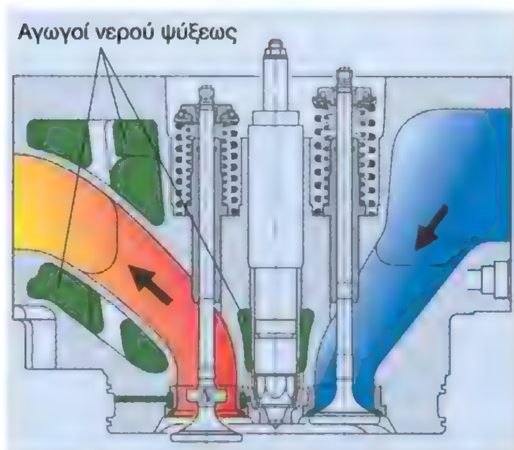
Η κεφαλή των κυλίνδρων στις πετρελαιομηχανές κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο, ενώ στις βενζινομηχανές χρησιμοποιούνται κράματα αλουμινίου για τη μείωση του βάρους και την καλύτερη απόσβεση των ταλαντώσεων.

2.4 Βαλβίδες – Μηχανισμοί κινήσεως.

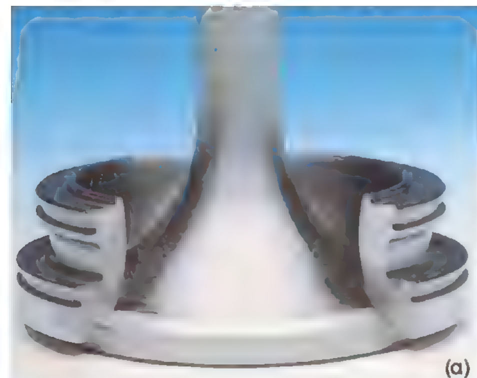
2.4.1 Βαλβίδες (valves).

Οι ***βαλβίδες***, με το άνοιγμα και το κλείσιμό τους στις κατάλληλες χρονικές στιγμές του κύκλου λειτουργίας της μηχανής, ρυθμίζουν την εισαγωγή του αέρα ή του καυσίμου μείγματος και την εξαγωγή των καυσαερίων (σχ. 2.4α και 2.4β).

Σε κάθε κύλινδρο τετράχρονης μηχανής υπάρ-

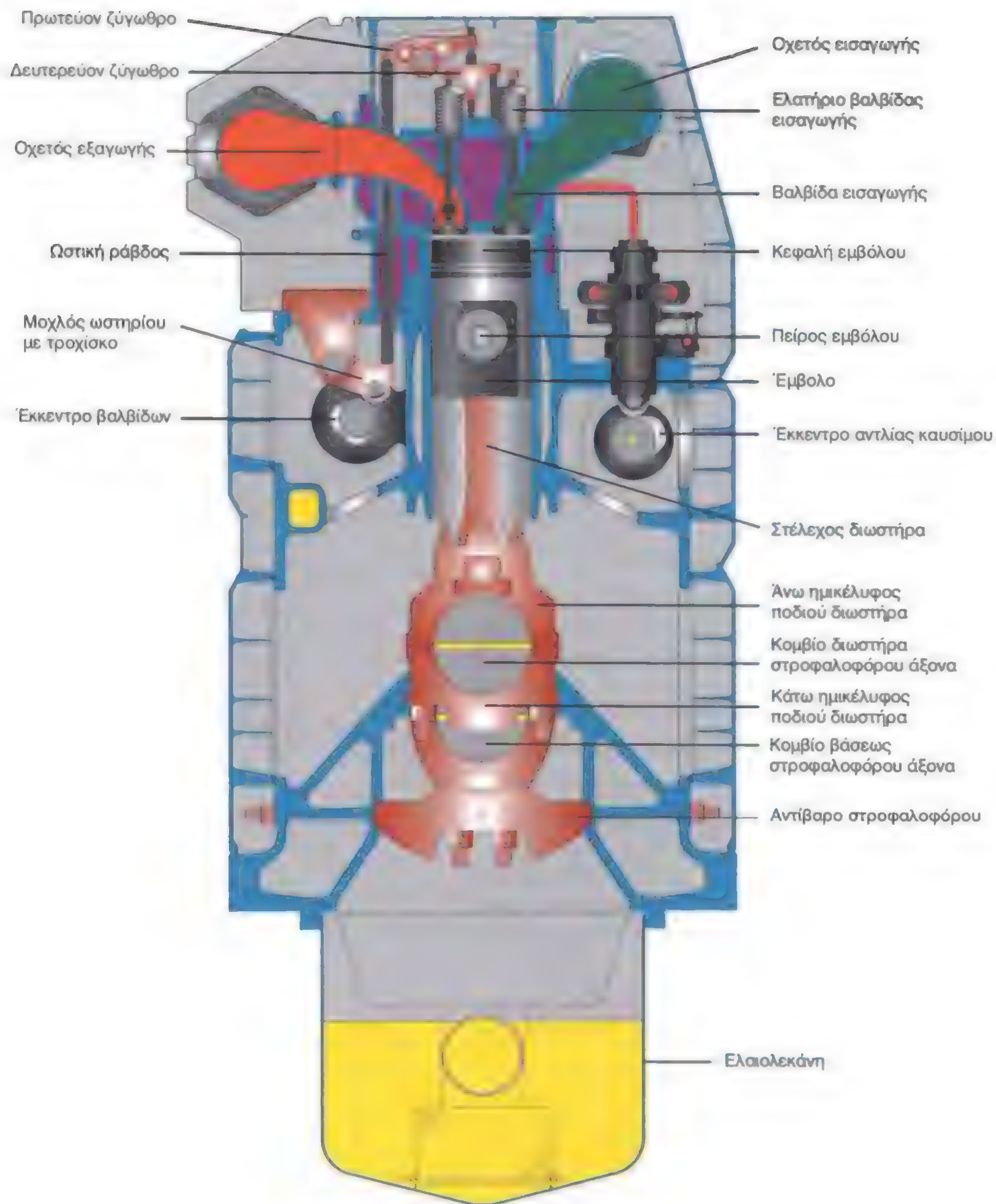


Σχ. 2.3β.
Τομή κεφαλής τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής. Διακρίνονται οι διαδρομές του αέρα εισαγωγής και των καυσαερίων μέσα από τους αντίστοιχους αγωγούς εισαγωγής και εξαγωγής.





Σχ. 2.4α.
α) Κεφαλή βαλβίδας (μανιτάρι) που εφάπτεται στην αντίστοιχη αφαιρούμενη έδρα της (σε τομή). β) Κάτω πλευρά κεφαλής κυλίνδρων πετρελαιομηχανής, όπου διακρίνονται οι θέσεις που προσαρμόζονται οι έδρες των τεσσάρων βαλβίδων.



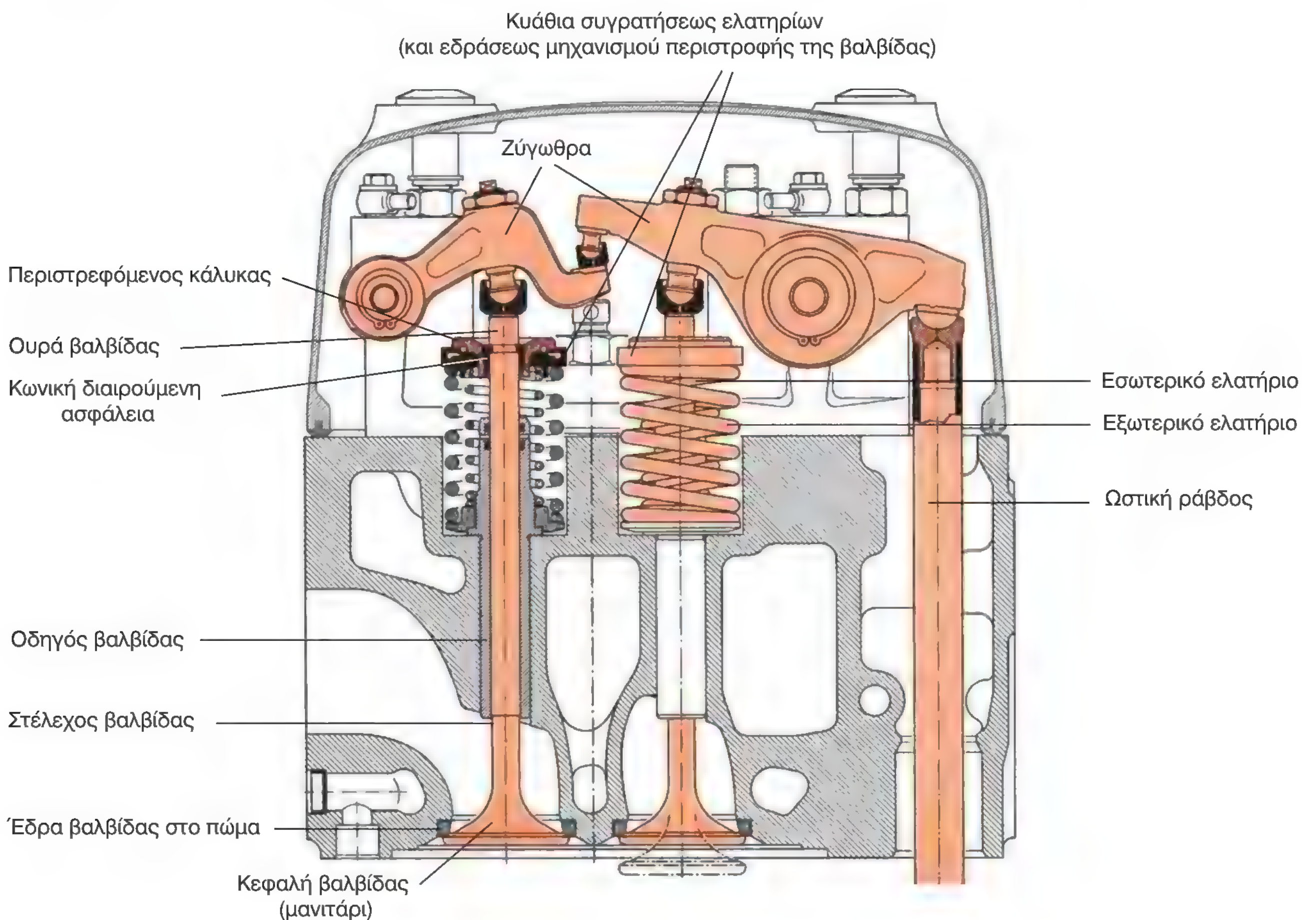
Σχ. 2.4β.
Τομή μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

χουν τουλάχιστον δύο βαλβίδες, μία της εισαγωγής του αέρα ή του καυσίμου μείγματος και μία της εξαγωγής των καυσαερίων. Μπορεί όμως να υπάρχουν και περισσότερες από δύο βαλβίδες σε κάθε κύλινδρο, δηλαδή: ***τρεις βαλβίδες***, από τις οποίες οι δύο είναι της εισαγωγής και η μία της εξαγωγής, ***τέσσερεις βαλβίδες*** [σχ. 2.4α(β)], από τις οποίες οι δύο είναι της εισαγωγής και οι δύο της εξαγωγής ή ***πέντε βαλβίδες***, από τις οποίες οι τρεις είναι της εισαγωγής και οι δύο της εξαγωγής.

Οι βαλβίδες εισαγωγής (σε μονό αριθμό βαλβίδων) είναι περισσότερες από αυτές της εξαγωγής για τον καλύτερο καθαρισμό των κυλίνδρων από τα καυσαέρια και την καλύτερη πλήρωση με αέρα ή με καύσιμο μείγμα. Σε όλους τους σύγχρονους τύπους μεγάλων διχρόνων πετρελαιομηχανών και σε ορισμένους τύπους διχρόνων μηχανών μικρής ισχύος υπάρχουν μόνο βαλβίδες (ή βαλβίδα) εξαγωγής.

Κάθε βαλβίδα αποτελείται από την ***κεφαλή***, το ***στέλεχος*** και την ***ουρά***. Η κεφαλή είναι το κάτω τμήμα της βαλβίδας με το χαρακτηριστικό σχήμα μανιταριού (σχ. 2.4γ). Όταν η βαλβίδα είναι κλειστή, η κεφαλή της εφάπτεται στεγανά στην αντίστοιχη ***έδρα*** της, στην κεφαλή των κυλίνδρων (σχ. 2.4α). Το στέλεχος είναι κυλινδρικός επιμήκης άξονας που στηρίζει και μεταφέρει την κίνηση στην κεφαλή. Το στέλεχος ολισθαίνει στο εσωτερικό του οδηγού της βαλβίδας. Η ουρά αποτελεί το ανώτερο τμήμα της βαλβίδας, και φέρει μία ή περισσότερες εγκοπές. Εκεί τοποθετούνται οι κωνικές διαιρούμενες ασφάλειες, που συγκρατούν το δακτύλιο (ή κυάθιο) στηρίξεως του ελατηρίου επαναφοράς.

Οι βαλβίδες βρίσκονται τοποθετημένες στην κεφαλή των κυλίνδρων και δέχονται την κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα. Όταν ο εκκεντροφόρος άξονας βρίσκεται στο σώμα των κυλίνδρων, τότε η κίνηση στις βαλβίδες μεταδίδεται με τη βοήθεια ωστηρίου, ωστικής ράβδου και ζυγώθρου (σχ. 2.4β και 2.4γ). Όταν ο εκκεντροφόρος άξονας βρίσκεται στην κεφαλή των κυλίνδρων («εκκεντροφόρος επί κεφαλής»), μεταδίδει την κίνηση απευθείας στα



Σχ. 2.4γ.
Μηχανισμός βαλβίδων πετρελαιομηχανής (με μηχανική περιστροφή).

ζύγωθρα ή στα καπελότα (κεφαλή χωρίς ζύγωθρα).

Οι βαλβίδες κατασκευάζονται από χρωμονικελιούχο χάλυβα, κράματα νικελίου ή κράματα κοβαλτίου, λόγω της αυξημένης αντοχής τους στις υψηλές θερμοκρασίες. Σε ορισμένες μηχανές οχημάτων οι βαλβίδες περιέχουν στο εσωτερικό τους άλατα νατρίου για την καλύτερη ψύξη τους. Το κωνικό τμήμα της κεφαλής της βαλβίδας και το αντίστοιχο τμήμα στην έδρα της πάνω στην κεφαλή των κυλίνδρων έχουν υποστεί ειδική κατεργασία, έτσι ώστε κατά το κλείσιμο της βαλβίδας να επιτυγχάνεται απόλυτη στεγανοποίηση.

2.4.2 Ελατήρια βαλβίδων.

Τα ***ελατήρια*** επαναφέρουν τις βαλβίδες στην κλειστή θέση, όταν παύει η επίδραση των εκκέντρων του εκκεντροφόρου άξονα. Τοποθετούνται στην κεφαλή των κυλίνδρων και στερεώνονται με τη βαλβίδα στην ουρά της, με τη χρήση καταλλήλων δακτυλίων και κωνικών ασφαλειών (σχ. 2.4γ). Κάθε βαλβίδα συνεργάζεται με ένα ή δύο ελατήρια (με το δεύτερο ελατήριο στο εσωτερικό του πρώτου).

Τα ελατήρια των βαλβίδων κατασκευάζονται από ειδικό χάλυβα ελατηρίων. Έχουν σπειροειδή μορφή, ενώ ο αριθμός των σπειρών, η διατομή τους και η διάμετρος του ελατηρίου εξαρτώνται από τη δύναμη (τάση) επαναφοράς τους. Αυτή πρέπει να έχει κατάλληλη τιμή ώστε να στεγανοποιείται πλήρως ο θάλαμος καύσεως του κυλίνδρου και να αποφεύγονται ανεπιθύμητες ταλαντώσεις λόγω συντονισμού, κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας.

2.4.3 Ωστήρια – Ωστικές ράβδοι και ζύγωθρα.

Στην περίπτωση που ο εκκεντροφόρος άξονας βρίσκεται στα πλάγια της μηχανής, ο μηχανισμός μεταδόσεως της κινήσεως από τον εκκεντροφόρο άξονα στις βαλβίδες αποτελείται από τα ***ωστήρια***, τις ***ωστικές ράβδους*** και τα ***ζύγωθρα*** (σχ. 2.4β, 2.4γ και 2.4δ). Το ***ωστήριο*** είναι το τμήμα του μηχανισμού που έρχεται σε άμεση επαφή με το έκκεντρο και μέσω της ***ωστικής ράβδου*** (καλάμι) μεταδίδει την κίνηση στο ζύγωθρο (κοκοράκι). Το ***ζύγωθρο*** είναι μοχλός, στερεωμένος στον άξονα των ζυγώθρων και μεταδίδει την κίνηση που δέχεται από την ωστική ράβδο στην ουρά της βαλβίδας, υπερνικώντας την τάση του ελατηρίου.

Στην περίπτωση που ο εκκεντροφόρος άξονας βρίσκεται επί κεφαλής, τότε η μετάδοση της κινήσεως στη βαλβίδα γίνεται είτε μέσω ειδικού ζυγώθρου, είτε με απευθείας μετάδοση στη βαλβίδα. Σε αυτήν την περίπτωση παρεμβάλλεται ωστήριο με μορφή κάλυκα (καπελότο).

Οι επιφάνειες των παραπάνω τμημάτων, που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, έχουν υποστεί κατεργασία επιφανειακής σκληρύνσεως. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η συνεχής λίπανση των τμημάτων αυτών, λόγω των μεγάλων τριβών και υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Ενδεχόμενη διακοπή της λιπάνσεως θα έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή τους.

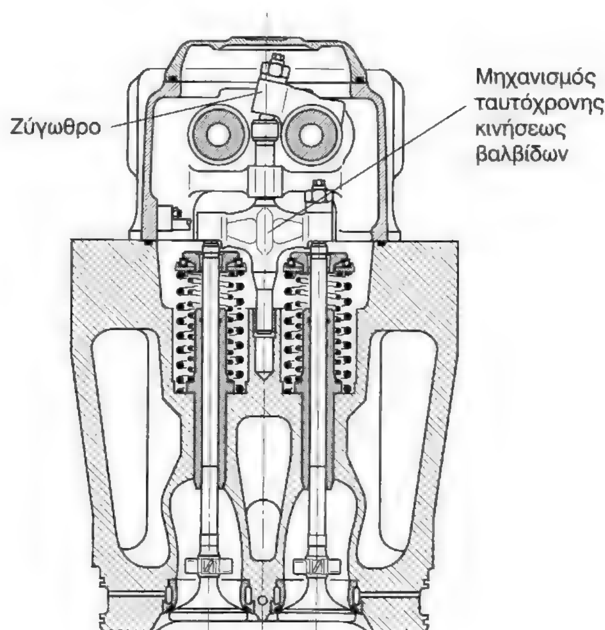
2.5 Έμβολα – Ελατήρια εμβόλων.

2.5.1 Έμβολο (piston).

Το ***έμβολο*** είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη της μηχανής, καθώς επιτρέπει την ελεγχόμενη εκτόνωση των καυσαερίων και την παραγωγή του ωφέλιμου έργου. Παλινδρομεί μεταξύ ΑΝΣ και ΚΝΣ εντός του κυλίνδρου. Μαζί με το διωστήρα και το στροφαλοφόρο άξονα αποτελούν το μηχανισμό μεταφοράς και μετατροπής της κινήσεως.

Οι λειτουργίες που επιτελεί το έμβολο είναι οι εξής:

- Παραλαμβάνει την πίεση των καυσαερίων και τη μετατρέπει σε δύναμη στο διωστήρα μέσω του πείρου του.
- Στεγανοποιεί το χώρο καύσεως από το στροφαλοθάλαμο με τη βοήθεια των ελατηρίων συμπιέσεως.



Σχ. 2.4δ.
Μηχανισμός ταυτόχρονης κινήσεως βαλβίδων εξαγωγής πετρελαιομηχανής.

– Ελέγχει στις δίχρονες μηχανές την εναλλαγή των αερίων, ανοίγοντας και κλείνοντας, στις κατάλληλες χρονικές στιγμές, τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

Τα έμβολα κατασκευάζονται ενιαία ή τμηματικά, από κράματα χάλυβα, χυτοσιδήρου ή αλουμινίου, ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τη χρήση της μηχανής. Λόγω της ισχυρής καταπονήσεως του εμβόλου από υψηλές θερμοκρασίες και ισχυρές τάσεις, απαιτούνται ειδικές ιδιότητες από τα υλικά κατασκευής, όπως:

– Μικρή πυκνότητα άρα και μικρότερο βάρος (για μικρότερες δυνάμεις αδρανείας).
– Διατήρηση της αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες.
– Υψηλή θερμική αγωγιμότητα.
– Ελάχιστη θερμική διαστολή για διατήρηση των απαραιτήτων ανοχών.
– Ελάχιστη αντίσταση τριβής, στις περιπτώσεις που το έμβολο έρχεται σε επαφή με τον κύλινδρο, και
– μεγάλη αντοχή στη φθορά που προκαλούν οι διαβρώσεις.

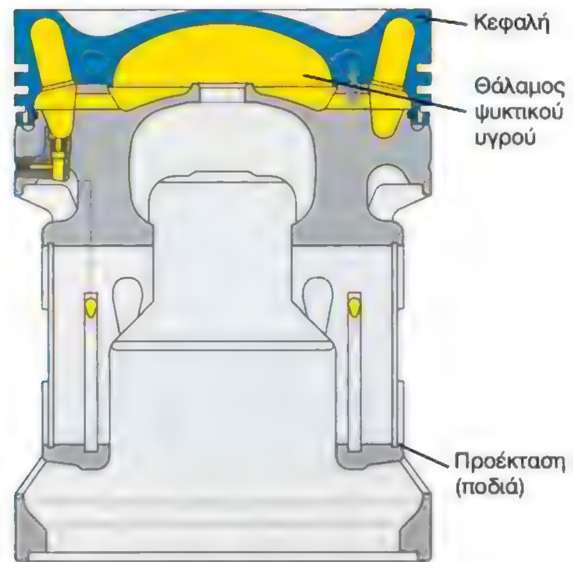
Το έμβολο στις ναυτικές μηχανές κατασκευάζεται σε δύο ή περισσότερα τμήματα, τα βασικότερα από τα οποία είναι η ***κεφαλή*** και η ***προέκταση*** (ποδιά) (σχ. 2.5α).

Η ***κεφαλή*** είναι το ανώτερο τμήμα του εμβόλου, που είναι και το πιο έντονα καταπονούμενο. Κατασκευάζεται συνήθως από χάλυβα με εξωτερικές περιφερειακές εγκοπές (αυλάκια), όπου τοποθετούνται τα ελατήρια συμπιέσεως. Εσωτερικά, η κεφαλή είναι ειδικά διαμορφωμένη, φέροντας ενισχύσεις, που σχηματίζουν διόδους για την κατάλληλη κυκλοφορία του λαδιού ή του νερού ψύξεως και αυξάνουν την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας. Η κεφαλή στα διαιρούμενα έμβολα, προσαρμόζεται με τη βοήθεια φυτευτών κοχλιών στο επάνω τμήμα του κορμού του εμβόλου.

Η ***προέκταση (ποδιά)*** του εμβόλου υπάρχει σε όλες τις μηχανές, εκτός των περιπτώσεων, όπου η μετάδοση της κινήσεως στο διωστήρα γίνεται μέσω βάκτρου και ζυγώματος και υπάρχει βαλβίδα εξαγωγής. Κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη, για τη μείωση των τριβών. Στις αντίστοιχες δίχρονες μηχανές αποτελεί τον οδηγό του εμβόλου και στεγανοποιεί κατά την άνοδο του εμβόλου τις θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής. Φέρει κατάλληλες εγκοπές για την τοποθέτηση ενός ή δύο ελατηρίων λιπάνσεως και αποξέσεως του λαδιού.

Η σύνδεση του εμβόλου με το διωστήρα πραγματοποιείται συνήθως με τη βοήθεια ενός πείρου, ο οποίος εδράζεται σε κατάλληλη διαμόρφωση στο εσωτερικό του εμβόλου, τον ***ομφαλό***, και επιτρέπει την ελεύθερη σχετική κίνηση της κεφαλής του διωστήρα. Ο πείρος του εμβόλου (σχ. 2.4β) είναι κυλινδρικός κοίλος άξονας, κατασκευασμένος από χάλυβα υψηλής αντοχής, με λεία εξωτερική επιφά-





Σχ. 2.5α.
α) Έμβολο μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής χωρίς βάκτρο, όπου διακρίνονται με διαφορετικό χρώμα η κεφαλή και οι δακτύλιοι των ελατηρίων του, καθώς και η οπή για την προσαρμογή του πείρου. β) Το ίδιο έμβολο σε τομή.

νεια και κατεργασία επιφανειακής σκληρύνσεως. Όλη η παραγόμενη ισχύς μεταφέρεται από το έμβολο μέσω του πείρου στο διωστήρα.

Σε ειδικές περιπτώσεις η σύνδεση του εμβόλου με το διωστήρα γίνεται με ειδική σφαιρική άρθρωση, η οποία θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Στις μηχανές με βάκτρο και ζύγωμα δεν υπάρχει πείρος επί του εμβόλου ενώ το έμβολο συνδέεται σταθερά με το βάκτρο (σχ. 2.5β).

2.5.2 Ελατήρια εμβόλων (piston rings).

Τα ***ελατήρια*** του εμβόλου εξασφαλίζουν την απαραίτητη στεγανοποίηση του χώρου καύσεως, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή συμπίεση του αέρα, να αποφεύγεται η διαφυγή καυσαερίων προς το στροφαλοθάλαμο και να αποτρέπεται η εισροή λαδιού λιπάνσεως στο χώρο καύσεως.

Τα ελατήρια του εμβόλου διακρίνονται στα ***ελατήρια συμπιέσεως***, που έχουν προορισμό τη στεγανοποίηση του θαλάμου καύσεως και στα ***ελατήρια λαδιού***, τα οποία βοηθούν στην ομοιόμορφη διανομή του λαδιού και εμποδίζουν το λάδι της λιπάνσεως να εισέρχεται στο θάλαμο καύσεως.

Τα ελατήρια έχουν δακτυλιοειδές σχήμα (σχ. 2.5γ), μη ολοκληρωμένου κύκλου, για να είναι δυνατή η τοποθέτησή τους στις εγκοπές του εμβόλου και να παραλαμβάνονται οι θερμικές διαστολές. Η εσωτερική διάμετρος των ελατηρίων είναι μικρότερη της εξωτερικής διαμέτρου του εμβόλου, αλλά μεγαλύτερη της διαμέτρου των αυλακώσεων. Η εξωτερική τους διάμετρος είναι μεγαλύτερη της εσωτερικής διαμέτρου του κυλίνδρου. Έτσι, για την τοποθέ-



Σχ. 2.5β.
Έμβολα αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής συναρμολογημένα με τα βάκτρα τους.



Σχ. 2.5γ.
α) Ελατήρια εμβόλου μεσόστροφης πετρελαιομηχανής. Τα δύο ανώτερα είναι ελατήρια συμπιέσεως ενώ το κατώτερο είναι ελατήριο αποξέσεως λαδιού. Στο (β) διακρίνεται η διατομή τους.

τησή τους στο έμβολο είναι απαραίτητη η διαστολή τους, ενώ για να τοποθετηθεί το έμβολο με τα ελατήρια εντός του κυλίνδρου είναι απαραίτητη η σύσφιγξή τους. Το τμήμα που απουσιάζει από το ελατήριο, παραλαμβάνει τη σύσφιγξη αυτή, καθώς και τις θερμικές διαστολές.

Τα ελατήρια κατασκευάζονται από φαιό χυτοσίδηρο ή από χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη ή κραματωμένο χάλυβα, για τις περιπτώσεις υψηλών καταπονήσεων. Η κατασκευή τους γίνεται συχνά με κοπή από ενιαίο σωλήνα. Ο σωλήνας αυτός έχει κατασκευαστεί με φυγοκεντρική χύτευση, για να επιτυγχάνεται λεπτόκοκκη δομή και άρα υψηλή αντοχή. Ακολουθεί επιφανειακή κατεργασία σκληρύνσεως με επικάλυψη νικελίου ή μολυβδαινίου για να αποκτήσει μεγαλύτερη αντοχή στην τριβή και στην υψηλή θερμοκρασία. Η επικάλυψη είναι απαραίτητη λόγω της απουσίας ικανοποιητικής λιπάνσεως στα πρώτα ελατήρια συμπιέσεως. Το περισσότερο καταπονούμενο ελατήριο είναι το πρώτο κατά σειρά από την πλευρά του θαλάμου καύσεως.

Στις ναυτικές μηχανές υπάρχουν 2 έως 5 ελατήρια συμπιέσεως. Το πρώτο ή και το δεύτερο είναι συνήθως επιχρωμιωμένα εξαιτίας της υψηλής θερμικής τους καταπονήσεως. Οι τετράχρονες ναυτικές μηχανές φέρουν συνήθως ένα ή δύο ελατήρια λαδιού. Οι δίχρονες ναυτικές μηχανές με βάκτρο δεν φέρουν ιδιαίτερα ελατήρια λαδιού. Τη λειτουργία τους αντικαθιστούν τα ελατήρια συμπιέσεως.

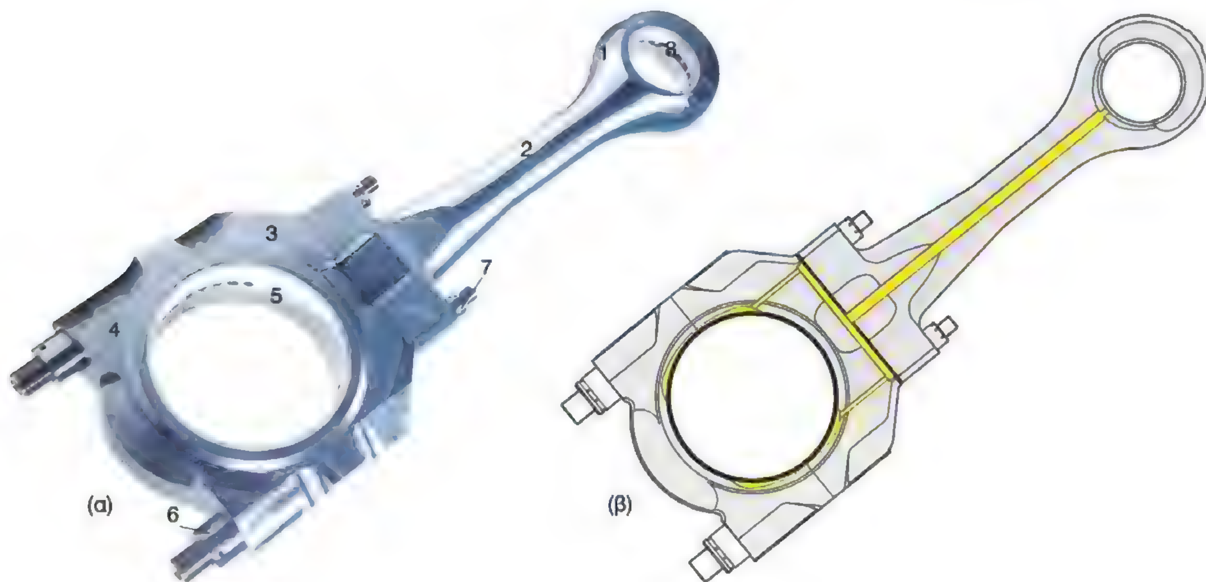
2.6 Διωστήρας (connecting rod).

Σκοπός του ***διωστήρα*** είναι να μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου ή του βάκτρου (σε μεγάλες μηχανές), σε περιστροφική και να τη μεταφέρει στο στροφαλοφόρο άξονα και αντίστροφα. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα. Φέρει στα άκρα του δύο οπές για να συνδέεται με τον ***πείρο του εμβόλου*** (ή στο κομβίο του ζυγώματος) και το ***κομβίο του στροφάλου***. Στις δύο οπές προσαρμόζονται διαιρούμενοι τριβείς, οι οποίοι είναι επενδυμένοι συνήθως με λευκό μέταλλο. Εσωτερικά ο διωστήρας φέρει αγωγούς που μεταφέρουν το λιπαντικό υγρό στους τριβείς (σχ. 2.6).

Ο διωστήρας διακρίνεται στα παρακάτω μέρη:

α) Την ***κεφαλή του διωστήρα:*** Είναι το ανώτερο τμήμα του, το οποίο συνδέεται με το έμβολο, μέσω του πείρου του. Ο πείρος αυτός περνά από την οπή της κεφαλής του διωστήρα. Στην περίπτωση που συνδέεται με το κομβίο του ζυγώματος, η κεφαλή είναι διαιρούμενη και αποτελείται από δύο ημικελύφη με δύο αντίστοιχους ημιτριβείς.

β) Το ***στέλεχος του διωστήρα:*** Είναι η δοκός που



Σχ. 2.6.

α) Διωστήρας μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής. Στις οπές της κεφαλής (1) και του ποδιού διακρίνονται τοποθετημένοι οι τριβείς (8), (5). Το πόδι του διωστήρα είναι διαιρούμενο σε δύο ημικελύφη. Το άνω ημικέλυφος (3) συνδέεται μέσω κοχλιών (7) με το στέλεχος του διωστήρα (2). Το κάτω ημικέλυφος του ποδιού (4) συνδέεται με το άνω (3) μέσω κοχλιών (6). β) Ο ίδιος διωστήρας σε τομή, όπου με κίτρινο χρώμα σημειώνεται η διαδρομή του λαδιού που λιπαίνει τους τριβείς.

συνδέει την κεφαλή με το πόδι. Για την αύξηση της αντοχής και τη μείωση του βάρους του, η διατομή του έχει τη μορφή διπλού ταυ (Η) στις μικρές μηχανές, ενώ στις πετρελαιομηχανές μεγάλης ισχύος είναι ελλειπτική.

γ) Το ***πόδι του διωστήρα***: Είναι αυτό που σχηματίζει το έδρανο ολισθήσεως του διωστήρα, το οποίο περιβάλλει το κομβίο του στροφάλου. Είναι πάντα διαιρούμενο και αποτελείται από δύο ημικελύφη. Το ένα ημικέλυφος είναι συνδεδεμένο με το κάτω άκρο του στελέχους (είτε ως ενιαίο τμήμα είτε συνδεδεμένο με ειδικούς κοχλίες), ενώ το δεύτερο αγκαλιάζει το κομβίο του στροφάλου. Τα δύο ημικελύφη συνδέονται με τη βοήθεια ειδικών κοχλιών, ενώ συσφίγγονται με συγκεκριμένη ροπή προεντάσεως. Μεταξύ του κομβίου του στροφάλου και των δύο ημικελύφων παρεμβάλλονται δύο ημιτριβείς, κατασκευασμένοι από μαλακά μέταλλα. Η λίπανση της εδράσεως επιτυγχάνεται με την παροχή λαδιού μέσω ειδικών διόδων στο στροφαλοφόρο άξονα.

2.7 Βάκτρο – Στυπειοθλίπτης – Ζύγωμα.

2.7.1 Βάκτρο.

Το ***βάκτρο*** μαζί με το ζύγωμα συναντώνται στις δίχρονες αργόστροφες μηχανές μεγάλης ισχύος. Το βάκτρο είναι ένας χαλύβδινος βραχίονας, του οποίου το ένα άκρο συνδέεται με το ζύγωμα, ενώ το άλλο συνδέεται σταθερά στο κάτω μέρος του εμβόλου (σχ. 2.5β και 2.7). Με τη χρήση του βάκτρου, η ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου μεταδίδεται ως ευθύγραμμη παλινδρομική έως το ζύγωμα, όπου και συνδέεται ο διωστήρας. Με το μηχανισμό αυτό οι πλάγιες δυνάμεις, λόγω της κινήσεως του διωστήρα, δεν μεταδίδονται στο έμβολο, αλλά στο ζύγωμα, με αποτέλεσμα τη μείωση της φθοράς του εμβόλου και του χιτωνίου. Παράλληλα, επιτυγχάνεται η μείωση του πλάτους (και του όγκου) της μηχανής, ενώ είναι δυνατή η στεγανοποίηση του χώρου κάτω από το έμβολο (με τη βοήθεια του στυπειοθλίπτη), για τη χρήση του ως αντλίας σαρώσεως. Ο χώρος αυτός ονομάζεται ***κιβώτιο σαρώσεως*** και είναι ανεξάρτητος του στροφαλοθαλάμου.

Το βάκτρο σε ορισμένους τύπους μηχανών φέρει εσωτερικά, ειδικά διαμορφωμένους αγωγούς για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου της κεφαλής του εμβόλου. Στο κάτω μέρος του το βάκτρο συνδέεται με το ζύγωμα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τη διαμόρφωση στο βάκτρο σπειρώματος υψηλής αντοχής και περικοχλίου, είτε με τη χρήση ανεξαρτήτων κοχλιών. Η σύσφιγξη των κοχλιών γίνεται πάντα με την εφαρμογή υδραυλικής προεντάσεως. Κατ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται η καταπόνηση που προκαλούν οι ισχυρές αδρανειακές ταλαντώσεις που αναπτύσσονται.

2.7.2 Ζύγωμα.

Το ***ζύγωμα*** είναι ένας ολισθητήρας, που διαθέτει αρθρωτή σύνδεση για τη μετάδοση της κινήσεως από το βάκτρο στο διωστήρα (σχ. 2.7). Το ζύγωμα ολισθαίνει κατακόρυφα πάνω στις ευθυντηρίες του σώματος της μηχανής, παραλαμβάνοντας τις πλάγιες δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω της μεταβαλλόμενης κλίσεως του διωστήρα.

Κατασκευάζεται από χάλυβα και φέρει ειδικό κομβίο, πάνω στο οποίο προσαρμόζονται οι τριβείς της κεφαλής του διωστήρα. Στα σημεία επαφής του με τις ευθυντηρίες τοποθετούνται αφαιρούμενα πέδιλα από λευκό μέταλλο για να μειώνεται η τριβή κατά την ολίσθησή του. Λόγω των μεγάλων πλαγίων δυνάμεων που αναπτύσσονται, είναι άκρως απαραίτητη η πολύ καλή λίπανση των επιφανειών τριβής μεταξύ ζυγώματος και ευθυντηριών.

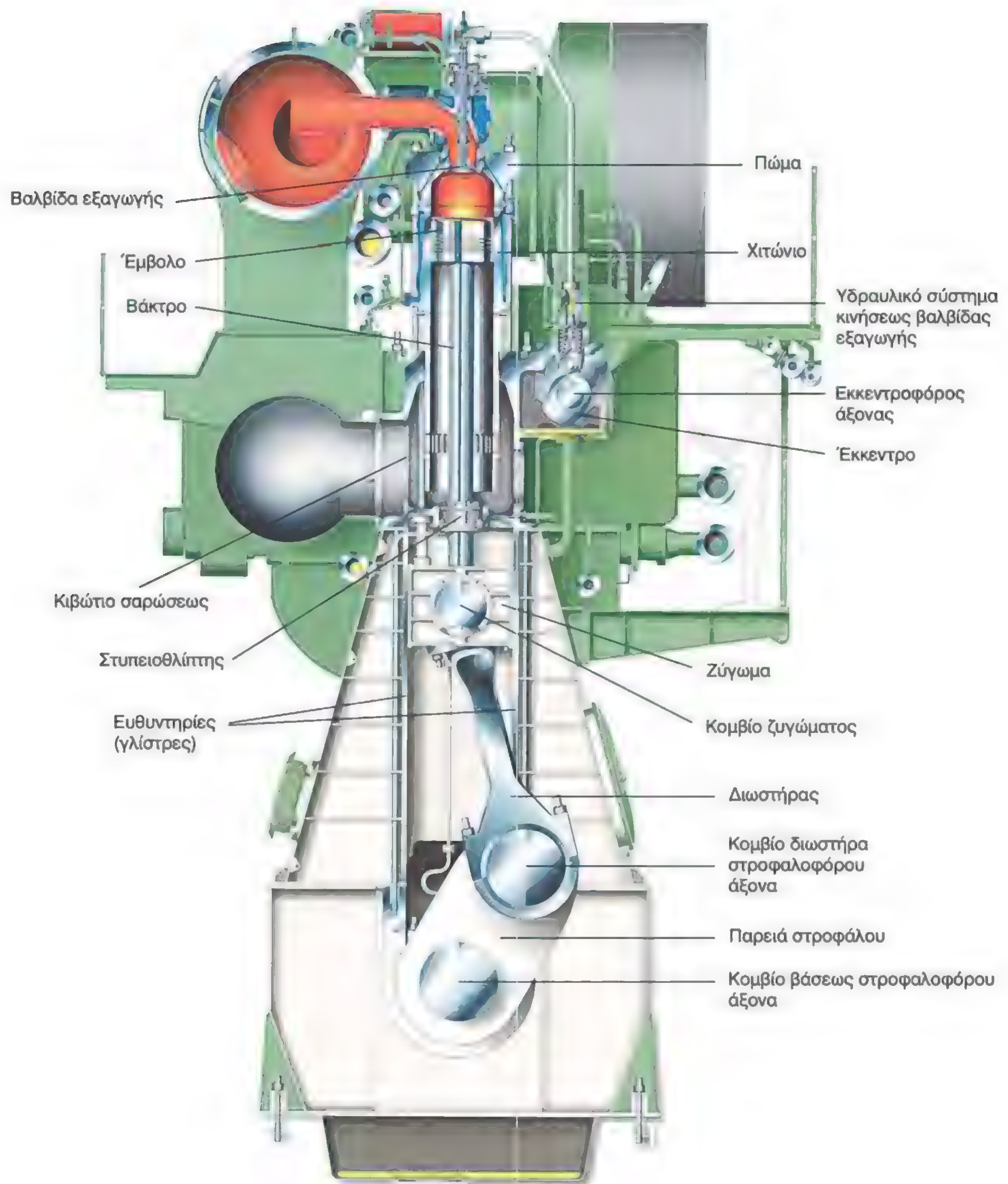
2.7.3 Στυπειοθλίπτης.

Ο ***στυπειοθλίπτης*** τοποθετείται στο μεταλλικό διάφραγμα, στον πυθμένα του κιβωτίου σαρώσεως (σχ. 2.7). Το βάκτρο παλινδρομεί μέσα στο στυπειοθλίπτη, ο οποίος δεν επιτρέπει να διαφεύγει ο αέρας σαρώσεως προς το στροφαλοθάλαμο ή να περνά λάδι από το στροφαλοθάλαμο προς το χώρο σαρώσεως. Για το λόγο αυτό, ο στυπειοθλίπτης φέρει στεγανωτικούς δακτυλίους και δακτυλίους αποξέσεως λαδιού. Οι στεγανοποιητικοί δακτύλιοι συγκρατούνται γύρω από το βάκτρο με εξωτερικά ελατήρια.

2.8 Στροφαλοφόρος άξονας (crankshaft).

Ο ***στροφαλοφόρος άξονας*** μετατρέπει, με τη βοήθεια των διωστήρων, την ευθύγραμμη κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική. Έχει χαρακτηριστικό σπαστό σχήμα, και αποτελείται από διαδοχικά τμήματα σχήματος Π. Είναι ένα από τα βαρύτερα και ακριβότερα τμήματα του κινητήρα. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα (χρωμονικελιούχο ανοξείδωτο χάλυβα) άριστης ποιότητας και υψηλής αντοχής.

Αποτελείται από τα κύρια κομβία βάσεως (που εδράζονται στα έδρανα βάσεως της μηχανής) και τα κομβία των διωστήρων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τους ***βραχίονες*** (παρειές, μάγουλα ή κιθάρες). Δύο βραχίονες μαζί με το κομβίο του διωστή-



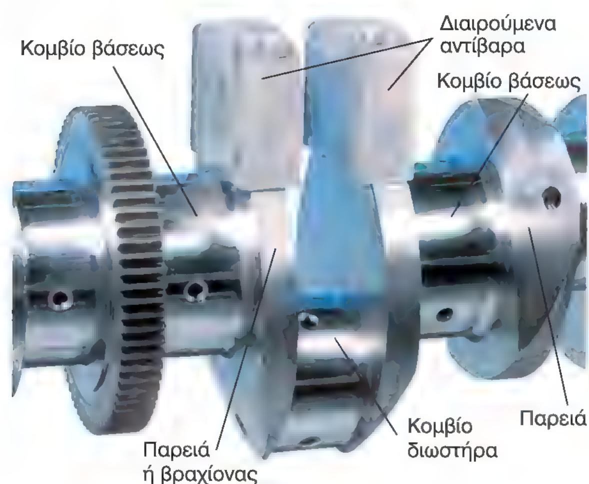
Σχ. 2.7.
Τομή αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής.

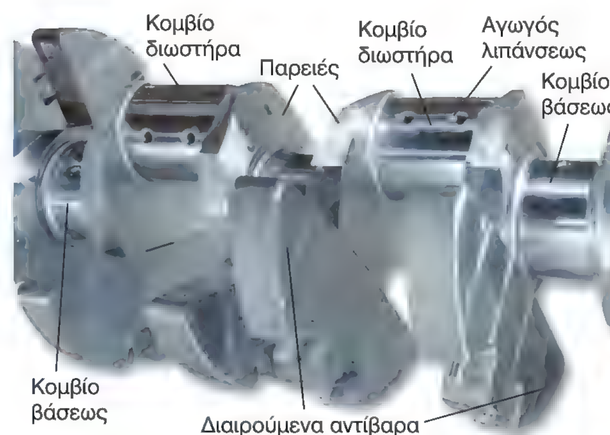
ρα αποτελούν το λεγόμενο ***αγκώνα (στρόφαλος)***. Ο αριθμός των αγκώνων ισούται με τον αριθμό των κυλίνδρων (σχ. 2.8α). Όλοι οι αγκώνες ωστόσο δεν βρίσκονται τοποθετημένοι στο ίδιο επίπεδο (σχ. 2.8β).

Ο στροφαλοφόρος άξονας μπορεί να είναι ολόσωμος (μικρές μηχανές) ή διαιρούμενος (μεγάλες μηχανές).

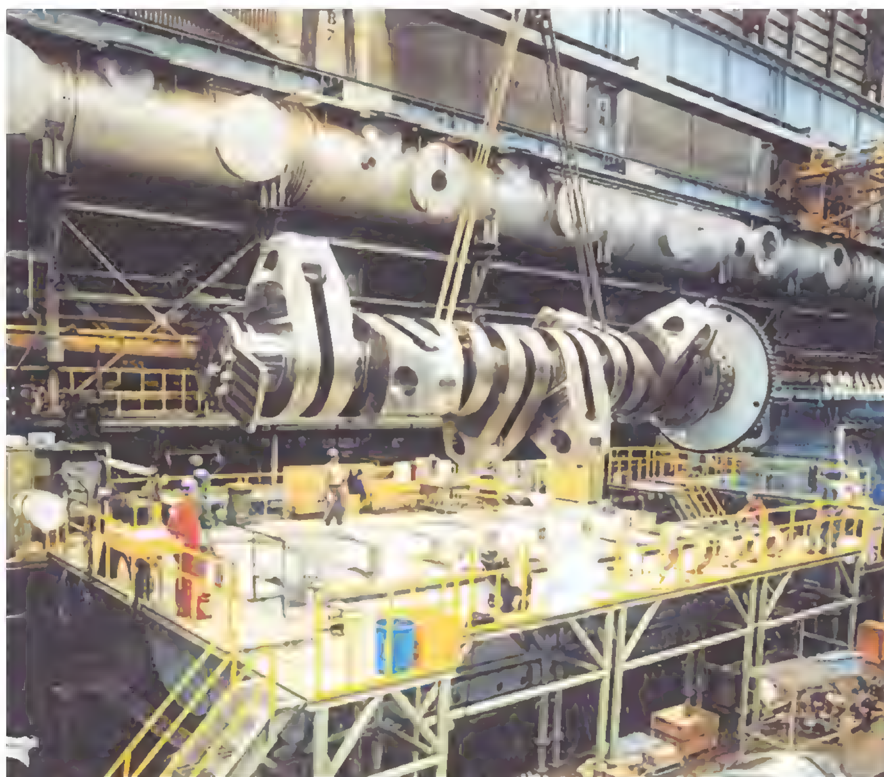
Οι βραχίονες του στροφαλοφόρου άξονα φέρουν αντίβαρα για τη ζυγοστάθμιση των εκκέντρων μαζών του στροφαλοφόρου και των παλινδρομούντων μαζών του εμβόλου και του διωστήρα. Τα αντίβαρα μπορεί να κατασκευάζονται σε ενιαίο τμήμα με τους βραχίονες ή να είναι πρόσθετα και να συνδέονται με κοχλίες.

Με το άκρο του στροφαλοφόρου άξονα συνδέε-





Σχ. 2.8α.
Τμήματα στροφαλοφόρου άξονα τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής.



Σχ. 2.8β.
Στροφαλοφόρος άξονας μεγάλης αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής, κατά τη διαδικασία τοποθετήσεώς του στη βάση της μηχανής.

ται ο σφόνδυλος. Από το στροφαλοφόρο άξονα, μέσω οδοντωτών τροχών ή αλυσίδων, μεταδίδεται η κίνηση στον εκκεντροφόρο άξονα και στους διάφορους βοηθητικούς μηχανισμούς.

Στο εσωτερικό του φέρει αγωγούς για τη διοχέτευση του ελαίου λιπάνσεως προς τους κύριους τριβείς βάσεως, τους τριβείς των κομβίων των διωστήρων και μέσω των διωστήρων στα έμβολα (σε ορισμένες μηχανές).

2.9 Εκκεντροφόρος άξονας (camshaft).

2.9.1 Γενικά.

Ο ***εκκεντροφόρος (κνωδακοφόρος) άξονας*** μεταδίδει την κίνηση για το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, ενώ παράλληλα μεταδίδει την κίνηση και σε βοηθητικούς μηχανισμούς. Δέχεται την κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα, μέσω της αλυσίδας (καδένας), του οδοντωτού ιμάντα (στις μικρές μηχανές) ή με τη βοήθεια οδοντωτών τροχών. Το κύριο στοιχείο του είναι τα ***έκκεντρα*** (κνώδακες), τοποθετημένα σε κατάλληλες θέσεις και γωνίες κατά μήκος του (σχ. 2.9).

Τα έκκεντρα μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση του εκκεντροφόρου άξονα σε παλινδρομική των ωστηρίων και των βαλβίδων. Η εκκεντρότητά τους καθορίζει το βύθισμα των βαλβίδων, ενώ η καμπυλότητά τους καθορίζει την ταχύτητα ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων όπως και το χρόνο παραμονής σε ανοικτή θέση. Η γωνία τοποθετήσεώς τους καθορίζει το χρονισμό των βαλβίδων.

Ο εκκεντροφόρος με την παρεμβολή των τριβέων ολισθήσεως εδράζεται στον κορμό της μηχανής ή στο πώμα στην περίπτωση «εκκεντροφόρου επί κεφαλής». Ο εκκεντροφόρος κινεί εκτός από τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, τη βαλβίδα αέρα εκκινήσεως και τις αντλίες καυσίμου. Στις βενζινομηχανές κινεί τη μηχανική αντλία βενζίνης, την αντλία λαδιού και το διανομέα ρεύματος. Στους σύγχρονους βενζινοκινητήρες μάλιστα, λόγω του μεγάλου αριθμού βαλβίδων ανά κύλινδρο, συνηθίζεται η χρήση δύο «εκκεντροφόρων επί κεφαλής» για κάθε μπλοκ κυλίνδρων (τέσσερεις εκκεντροφόροι σε μηχανές με διάταξη κυλίνδρων τύπου V ή αντιτιθεμένων κυλίνδρων - Boxer).

Στις μεγάλες πετρελαιομηχανές τύπου V, κάθε μπλοκ κυλίνδρων μπορεί να έχει το δικό του εκκεντροφόρο άξονα για τον έλεγχο των βαλβίδων και των βοηθητικών μηχανισμών. Διαφορετικά υπάρχει κοινός εσωτερικός εκκεντροφόρος για τον έλεγχο των βαλβίδων και ξεχωριστοί εξωτερικοί εκκεντροφόροι για τους βοηθητικούς μηχανισμούς (αντλίες καυσίμου).

Οι αναστρεφόμενες μηχανές φέρουν διπλά έκκεντρα στον εκκεντροφόρο άξονα, το ένα από τα οποία είναι για την πρόσω κίνηση και το άλλο για την κίνηση ανάποδα. Για την εμπλοκή του αντίστοιχου εκκέντρου, ο εκκεντροφόρος άξονας μετατοπίζεται αξονικά, καθώς ασκείται υδραυλική πίεση. Ο εκκεντροφόρος άξονας κατασκευάζεται από νικελιούχο ή χρωμιονικελιούχο χάλυβα.

2.9.2 Μετάδοση κινήσεως.

Η σχέση ***μεταδόσεως της κινήσεως*** μεταξύ στροφαλοφόρου - εκκεντροφόρου είναι 2 : 1 για τις τετράχρονες μηχανές (δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου και μια περιστροφή του εκκεντροφόρου), ενώ για τις δίχρονες είναι 1 : 1. Αυτό γίνεται, διότι στις τετράχρονες μηχανές ο στροφαλοφόρος χρειάζεται να ολοκληρώσει δύο περιστροφές για να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας, οπότε οι βαλβίδες ανοίγουν μια φορά. Έτσι, ο εκκεντροφόρος πρέπει να περιστραφεί μια φορά.

Ο τρόπος μεταδόσεως της κινήσεως από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα εξαρτάται από τη θέση του τελευταίου στη μηχανή. Στην περίπτωση που ο εκκεντροφόρος άξονας βρίσκεται στα πλάγια του σώματος της μηχανής, η μετάδοση της κινήσεως γίνεται μέσω οδοντωτών τροχών ή αλυσίδας (καδένας). Στην περίπτωση που ο εκκεντροφόρος άξονας βρίσκεται πάνω στην κεφαλή, η μετάδοση της κινήσεως πραγματοποιείται μέσω αλυσίδας ή μέσω οδοντωτού τραπεζοειδούς ιμάντα. Στις μεγάλες δίχρονες αργόστροφες ναυτικές μηχανές οι



Σχ. 2.9.
Εκκεντροφόρος άξονας πετρελαιομηχανής.

εκκεντροφόροι βρίσκονται στα πλάγια του σώματος της μηχανής και η μετάδοση της κινήσεως γίνεται μέσω οδοντωτών τροχών ή με τη χρήση (διπλών) αλυσίδων.

2.10 Τριβείς.

Οι ***τριβείς*** είναι κυλινδρικοί μεταλλικοί δακτύλιοι, οι οποίοι τοποθετούνται στα σημεία εδράσεως περιστρεφομένων τμημάτων, για τη μείωση της τριβής (σχ. 2.10α). Λιπαίνονται συνεχώς με λάδι, που συγκρατείται στην περιοχή μεταξύ του τριβέα και του άξονα, λόγω της ειδικής γεωμετρίας του τριβέα. Η κατασκευή τους γίνεται από ειδικά κράματα με πολλές επιστρώσεις για την αύξηση της αντοχής τους και τη μείωση των τριβών (σχ. 2.10β).

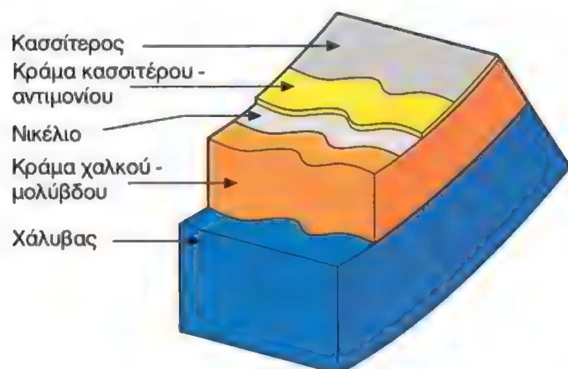
2.10.1 Κύριοι τριβείς βάσεως.

Οι ***κύριοι τριβείς*** είναι διαιρούμενοι και αποτελούνται από εξωτερικό χαλύβδινο περίβλημα με εσωτερικές διαδοχικές επιστρώσεις από μαλακά μέταλλα (κράματα χαλκού - μολύβδου, νικελίου, αντιμονίου, κασσιτέρου κ.λ.π.). Τοποθετούνται στις κατάλληλες υποδοχές των εξωτερικών ημικελύφων (εδράνων). Τα ημικελύφη αυτά συναρμολογούνται πάνω στα εγκάρσια διαφράγματα της βάσεως (σχ. 2.10γ). Στις μικρές μηχανές το άνω ημικέλυφος αποτελεί ενιαίο τμήμα με τον κορμό της μηχανής.

Η λίπανσή τους γίνεται με λάδι υπό πίεση, που ρέει σε κάθε τριβέα μέσω μιας οπής στο στροφαλοφόρο άξονα ή στο κέλυφος, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Στο κέντρο τους είναι ειδικά διαμορφωμένα για να συγκρατούν το λιπαντικό στρώμα.



Σχ. 2.10α.
Διαιρούμενος τριβέας ποδιού διωστήρα σε πετρελαιομηχανή.



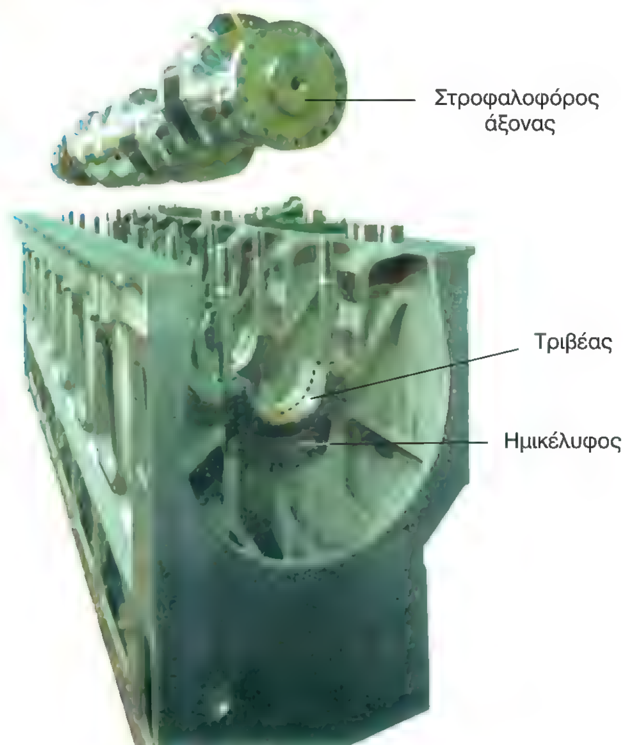
Σχ. 2.10β.
Διαδοχικά μεταλλικά στρώματα τριβέα.

2.10.2 Τριβείς διωστήρων.

Οι ***τριβείς*** στο πόδι του διωστήρα (σχ. 2.6), όπως και οι τριβείς κεφαλής στις μηχανές με ζύγωμα και βάκτρο, είναι παρόμοιοι με τους τριβείς βάσεως. Έχουν την ίδια μορφή αλλά και ίδια υλικά κατασκευής (διαιρούμενοι). Οι τριβείς κεφαλής στις μηχανές χωρίς βάκτρο είναι μη διαιρούμενοι δακτύλιοι, που τοποθετούνται υπό πίεση (πρεσαριστοί) στην οπή της κεφαλής του διωστήρα.

2.10.3 Ωστικός τριβέας.

Ο ***ωστικός τριβέας*** συναντάται στις ναυτικές μηχανές και παραλαμβάνει την ωστική αξονική δύναμη της έλικας, την οποία μεταβιβάζει στο σκάφος. Αναλυτική περιγραφή του θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχ. 2.10γ.
Βάση πετρελαιομηχανής όπου διακρίνονται τοποθετημένοι στα κάτω ημικελύφη οι τριβείς βάσεως.

Κεφάλαιο Τρίτο



ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

3.1 Καύση.

3.1.1 Γενικά.

Για τη λειτουργία μιας θερμικής μηχανής απαιτείται να προσδοθεί θερμότητα. Η θερμότητα αυτή εκλύεται συνήθως, όταν μετατρέπεται χημική ενέργεια σε θερμική, μέσω κάποιας εξώθερμης χημικής αντιδράσεως. Θεωρητικά, οποιαδήποτε οξείδωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί θερμότητα. Στην πράξη όμως χρησιμοποιείται η χημική αντίδραση της καύσεως, δηλαδή η αντίδραση χημικής ουσίας (καύσιμο) με το οξυγόνο. Παράγονται έτσι σημαντικά ποσά θερμότητας και παράλληλα, συγκεκριμένα προϊόντα, τα καυσαέρια.

Στις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως το οξυγόνο που χρησιμοποιείται για την καύση του καυσίμου προέρχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο αέρας αυτός εισέρχεται στο χώρο του κυλίνδρου κατά τη φάση της εισαγωγής. Ο ατμοσφαιρικός αέρας, όμως, εκτός από το οξυγόνο περιέχει άζωτο και άλλες ουσίες, οι οποίες, ενώ δεν συμμετέχουν άμεσα στη διαδικασία της παραγωγής θερμότητας, παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της καύσεως και των παραγομένων καυσαερίων.

Ορίζομε ως ***τέλεια καύση*** του καυσίμου, τη διαδικασία, κατά την οποία μετατρέπονται πλήρως οι χημικές ενώσεις του καυσίμου σε ενώσεις, που δεν επιδέχονται περαιτέρω αντίδραση με το οξυγόνο. Η τέλεια καύση του καυσίμου είναι βασικότατη επιδίωξη κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Ατελής καύση συμβαίνει όταν υπάρχει έλλειψη οξυγόνου (ή αντίστροφα περίσσεια καυσίμου) με αποτέλεσμα τη μερική μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμότητα και τη μείωση της αποδόσεως του κινητήρα. Η ατελής καύση συνοδεύεται από την παραγωγή χημικών ενώσεων επιβλαβών για τον άνθρωπο και το περιβάλλον (ρύποι).

3.1.2 Καύσιμα.

Τα ***καύσιμα*** που χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσεως, είναι υγρά ή αέρια και αποτελούνται από μείγμα υδρογονανθράκων. Τα υγρά καύσιμα προέρχονται κυρίως από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου, ή με συνθετική μέθοδο από λιθάνθρακες, φαιάνθρακες κ.λ.π. Τα αέρια καύσιμα αποτελούν προϊόντα της κλασματικής αποστάξεως του αργού πετρελαίου (υγραέρια, ελαιαέρια), ή προέρχονται από την επεξεργασία του φυσικού αερίου. Μαζί με τα υγρά καύσιμα των τυπικών υδρογονανθράκων χρησιμοποιούνται και τα αλκοολούχα καύσιμα, είτε σε αμιγή μορφή είτε ως πρόσθετα σε μικρό ποσοστό (10-20%).

Το ***αργό*** ή ***φυσικό*** πετρέλαιο βρίσκεται στη μορφή που λαμβάνεται κατά την άντλησή του από τα φυσικά κοιτάσματα και αποτελείται κατά βάση από μείγμα υδρογονανθράκων. Μετά το πρώτο στάδιο καθαρισμού (λάσπες, χώματα, άμμος) γίνεται απαερίωσή του (φυσική αφαίρεση των αερίων του) και αφυδάτωση. Στη συνέχεια, μεταφέρεται στην αποστακτική στήλη, όπου γίνεται κλασματική απόσταξη και διαχωρισμός των διαφόρων συστατικών του, ανάλογα με το σημείο βρασμού τους. Τα προϊόντα της κλασματικής αποστάξεως είναι (κατά αυξανόμενο σημείο ζέσεως) τα υγραέρια, ο πετρελαϊκός αιθέρας, οι βενζίνες, η κηροζίνη, το πετρέλαιο Diesel, το μαζούτ, οι παραφίνες και η πίσσα. Όλα τα προϊόντα της αποστάξεως περιέχουν και θείο (σε ποσότητες αντιστρόφως ανάλογες με την καθαρότητα του καυσίμου), στο οποίο οφείλονται πολλά από τα προβλήματα των καυσίμων αυτών.

Τα ***υγραέρια*** είναι υδρογονάνθρακες σε αέρια μορφή με 3-4 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Χρησιμοποιούνται ως καύσιμα Μ.Ε.Κ. (υγραεριοκίνηση σε μηχανές μικρής ισχύος) και για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

Οι ***βενζίνες*** είναι υδρογονάνθρακες σε υγρή μορφή με 4 έως 10 άτομα άνθρακα ανά μόριο, έχουν μικρό ειδικό βάρος και πολύ μεγάλη πτητικότητα (σημείο βρασμού 50° - 200° C). Χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμο βενζινομηχανών, με διάφορες προσθήκες (μόλυβδος, αρωματικοί υδρογονάνθρακες κ.λ.π.).

Η ***κηροζίνη*** (φωτιστικό πετρέλαιο) αποτελείται από υδρογονάνθρακες με 10 έως 14 άτομα άνθρακα ανά μόριο και χρησιμοποιείται κυρίως για την πρόωση των αεριωθουμένων αεροσκαφών (σημείο βρασμού 200°-250° C).

Το ***πετρέλαιο Diesel*** είναι μείγμα υδρογονανθράκων με 14-20 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Έχει σημείο βρασμού από 225° έως 350°C και διακρίνεται σε ελαφρύ Diesel (*gas-oil*) που χρησιμοποιείται σε πολύστροφες πετρελαιομηχανές (πετρέλαιο κινήσεως) και εγκαταστάσεις κεντρικής θερμάνσεως (πετρέλαιο θερμάνσεως) και σε βαρύ πετρέλαιο Diesel (***diesel fuel, Maritime Diesel Oil, MDO***), το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις μεσόστροφες και αργόστροφες Μ.Ε.Κ. των πλοίων και των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, καθώς και στους βιομηχανικούς λέβητες.

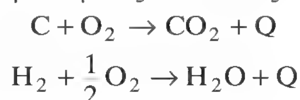
Το ***μαζούτ*** (***Heavy Fuel Oil, HFO***) περιέχει υδρογονάνθρακες με πάνω από 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο, και σημείο βρασμού πάνω από 350° C. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεγάλων αργοστρόφων μηχανών, ως καύσιμο λεβήτων και για την παραγωγή ορυκτελαίων και κυλινδρελαίων.

Τα πετρέλαια πρέπει απαραίτητα, να έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε θείο (όπως επιβάλλεται από τους διεθνείς κανονισμούς), για να προστατεύεται το περιβάλλον από την όξινη βροχή.

3.1.3 Χημικές αντιδράσεις καύσεως.

Ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας είναι κυρίως μείγμα οξυγόνου και αζώτου. Σε μικρές αναλογίες υπάρχει αργό, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, ήλιο και άλλα αέρια. Η κατ' όγκον αναλογία του οξυγόνου στον αέρα ισούται περίπου με 21%, ενώ αυτή του αζώτου ισούται περίπου με 79%. ***Το μοριακό βάρος του αέρα ισούται με 28,962 (συνήθως λαμβάνεται ίσο με 29).***

Εάν υπάρχει περίσσεια οξυγόνου, ο άνθρακας και το υδρογόνο των υδρογονανθράκων αντιδρούν με το οξυγόνο του αέρα προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό, σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:



$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$$

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + Q$$

όπου Q η εκλυόμενη θερμότητα της καύσεως.

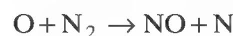
Ως παράδειγμα, η πλήρης καύση του προπανίου πραγματοποιείται κατά τη χημική αντίδραση:



$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + Q$$

Η σχέση αυτή συνδέει απλώς τα αντιδρώντα με τα προϊόντα της καύσεως και δεν περιγράφει αναλυτικά τη διαδικασία της αντιδράσεώς τους, που είναι πολύ πιο πολύπλοκη.

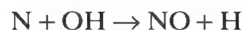
Το άζωτο που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα, σε χαμηλές θερμοκρασίες αντιδρά ελάχιστα με το οξυγόνο και δεν επηρεάζει σημαντικά τις παραπάνω αντιδράσεις. Στις υψηλές όμως θερμοκρασίες και πιέσεις που επικρατούν στους κυλίνδρους κατά τη φάση της καύσεως αντιδρά με το οξυγόνο, σχηματίζοντας οξείδια του αζώτου (NO_X), τα οποία είναι ιδιαίτερα τοξικά. Τα παραγόμενα οξείδια είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου, με το πρώτο να είναι το κύριο προϊόν. Το άζωτο προέρχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα, μπορεί όμως να περιέχεται και σε ενώσεις του καυσίμου (κυρίως στο πετρέλαιο). Οι κύριες χημικές αντιδράσεις παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου είναι οι ακόλουθες:



$$O + N_2 \rightarrow NO + N$$



$$N + O_2 \rightarrow NO + O$$



$$N + OH \rightarrow NO + H$$

Ένα σημαντικό φαινόμενο, το οποίο παρατηρείται κατά την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου, είναι το φαινόμενο της ***διαστάσεως*** των καυσαερίων. Διάσταση των καυσαερίων είναι το φαινόμενο κατά το οποίο τα προϊόντα της καύσεως διασπώνται, κάτω από την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών, απορροφώντας ποσά θερμότητας. Ενώ η καύση είναι ***εξώθερμη*** αντίδραση, η διάσταση, που αποτελεί την αντίθετη αντίδραση, είναι ***ενδόθερμη***, πραγματοποιείται δηλαδή με απορρόφηση θερμότητας. Η διάσταση των καυσαερίων, επειδή προκαλεί απορρόφηση θερμότητας, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του κύκλου, οπότε μειώνονται η ισχύς και ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου. Αναλυτικότερη περιγραφή θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

3.1.4 Χαρακτηρισμός μείγματος.

Ορίζομε ως ***λόγο αέρα / καυσίμου (A/F)*** το λόγο της μάζας του αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο

σε κάθε κύκλο προς τη μάζα του εισερχόμενου καυσίμου ανά κύκλο λειτουργίας. Αντίστοιχα, ορίζεται ως λόγος ***καυσίμου / αέρα (F/A)*** ο αντίστροφος του προηγούμενου, δηλαδή:

$$A/F = \frac{m_\alpha}{m_B}$$

$$F/A = \frac{m_B}{m_\alpha}$$

όπου m_α και m_B οι μάζες του αέρα και του καυσίμου αντίστοιχα, που εισέρχονται στον κύλινδρο ανά κύκλο λειτουργίας. Οι παραπάνω λόγοι μπορούν να οριστούν, αν στη θέση των μαζών θέσομε τις αντίστοιχες παροχές μάζας (σε kg/sec), δηλαδή:

$$A/F = \frac{\dot{m}_\alpha}{\dot{m}_B}$$

$$F/A = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_\alpha}$$

Ονομάζομε ***στοιχειομετρικό*** λόγο αέρα / καυσίμου (ή αντίστοιχα καυσίμου / αέρα) το λόγο των μαζών (ή παροχών) που αντιστοιχεί σε πλήρη καύση του καυσίμου χωρίς περίσσεια οξυγόνου. Για την καύση οκτανίου (C_8H_{18}) ο στοιχειομετρικός λόγος αέρα / καυσίμου ισούται με 15:1 ενώ το αντίστροφό του, ο στοιχειομετρικός λόγος καυσίμου / αέρα ισούται με 0,0662. Επειδή η σύσταση των καυσαερίων εξαρτάται σημαντικά από το πόσο απομακρυνόμαστε από τη στοιχειομετρική σύσταση, ορίζομε ως ***λόγο ισοδυναμίας καυσίμου / αέρα φ*** το πηλίκο του πραγματικού προς το στοιχειομετρικό λόγο καυσίμου / αέρα (ο οποίος συμβολίζεται με το δείκτη s):

$$\varphi = \frac{(F/A)}{(F/A)_S}$$

Το αντίστροφο μέγεθος του λόγου ισοδυναμίας καυσίμου / αέρα καλείται ***σχετικός λόγος αέρα / καυσίμου λ*** και δίδεται:

$$\lambda = \frac{1}{\varphi} = \frac{(A/F)}{(A/F)_S}$$

Ονομάζομε ***φτωχά μείγματα*** εκείνα, όπου $\varphi<1$ ή $\lambda>1$, δηλαδή τα μείγματα, στα οποία υπάρχει περίσσεια οξυγόνου, ***στοιχειομετρικά*** τα μείγματα, για τα οποία ισχύει $\varphi=\lambda=1$ και ***πλούσια*** τα μείγματα, για τα οποία ισχύει $\varphi>1$ ή $\lambda<1$, υπάρχει δηλαδή έλλειψη οξυγόνου (περίσσεια καυσίμου).

Η ***ρύθμιση της ισχύος*** στους βενζινοκινητήρες είναι ***ποσοτική,*** ρυθμίζεται δηλαδή με τη χρήση της πεταλούδας γκαζιού (διάφραγμα επιταχυντή) η ποσότητα του μείγματος που εισέρχεται στον κύλινδρο. Η πεταλούδα αποτελεί στην ουσία ένα περιστρεφόμενο διάφραγμα στον αγωγό εισαγωγής του μείγματος. Ανάλογα με τη θέση της ρυθμίζει την παροχή του μείγματος. Η αναλογία όμως καυσίμου-αέρα παραμένει σχεδόν σταθερή. Ειδικά στους βενζινοκινητήρες με τριοδικό οξειδωτικό καταλύτη είναι πάντοτε σταθερή και ίση με τη στοιχειομετρική (ρυθμιζόμενη συνεχώς με τη βοήθεια του αισθητήρα λ).

Σε αντίθεση με τους βενζινοκινητήρες, η ρύθμιση της ισχύος του κινητήρα Diesel είναι ***ποιοτική***, η αυξομείωση δηλαδή του έργου επιτυγχάνεται με τη μεταβολή του λόγου καυσίμου/αέρα, με την κατάλληλη επίδραση στην αντλία πετρελαίου. Η ποσότητα του εισερχόμένου αέρα είναι σταθερή για δεδομένες στροφές και αυτό που μεταβάλλεται είναι η ποσότητα του εγχυόμενου πετρελαίου, μεταβάλλοντας συνακόλουθα το λόγο καυσίμου/αέρα. Σε αντίθεση με το βενζινοκινητήρα δεν απαιτείται συγκεκριμένη σύνθεση του μείγματος. Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει και με πολύ φτωχά μείγματα, γιατί η φλόγα ξεκινά από πολλαπλά σημεία λόγω της αυταναφλέξεως.

3.1.5 Θερμογόνος δύναμη καυσίμων.

Ενώ η χημική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά μία χημική αντίδραση είναι πάντα ορισμένη, η θερμική ενέργεια που διατίθεται, δεν συμπίπτει ακριβώς με αυτή και εξαρτάται από τις συνθήκες της καύσεως. Ορίζομε ως ***θερμότητα καύσεως*** τη θερμική ενέργεια που λαμβάνομε κατά την ***τέλεια καύση*** ενός καυσίμου μείγματος που βρίσκεται σε αρχική θερμοκρασία Τ, και αφού στη συνέχεια ψύξομε τα προϊόντα της καύσεως μέχρι την αρχική αυτή θερμοκρασία Τ. Έτσι η θερμότητα καύσεως αναφέρεται πάντα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία εκτελέσεως της καύσεως, ενώ αντίθετα η χημική ενέργεια της καύσεως είναι ανεξάρτητη αυτής.

Ειδικά, η θερμότητα καύσεως ***ενός kg υγρού καυσίμου*** ονομάζεται ***θερμογόνος δύναμη*** του καυσίμου και μετριέται σε J/kg ή kJ/kg. Αν αυτή αναχθεί σε ένα kmole καυσίμου ονομάζεται ***μοριακή θερμογόνος δύναμη*** ή ***θερμοτονισμός*** και μετράται σε J/kmole ή kJ/kmole.

Η θερμογόνος δύναμη των αερίων καυσίμων ανάγεται σε ένα ***κανονικό κυβικό μέτρο αερίου (Nm^3)***. Ένα κανονικό κυβικό μέτρο αερίου έχει μάζα, όση η κανονική πυκνότητα του αερίου, δηλαδή η πυκνότητα σε πίεση 760 mmHg (1.013 bar) και θερμοκρασία 0^o C.

Το πείραμα της καύσεως για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δυνάμεως πραγματοποιείται είτε υπό σταθερό όγκο (εντός θερμιδομετρικού όλμου) είτε υπό σταθερή πίεση (θερμιδόμετρο ροής). Στις συνήθεις πρακτικές εφαρμογές, η θερμότητα καύσεως που προκύπτει από τις δύο μεθόδους, διαφέρει ελάχιστα.

Αν εκτελεστεί το πείραμα της καύσεως με διαφορετική αρχική θερμοκρασία του καυσίμου, η υπολογιζόμενη διαφορά της θερμότητας καύσεως είναι πολύ μικρή, ακόμη και όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία T μερικές εκατοντάδες βαθμούς Κελσίου.

Αντίθετα, στη θερμότητα καύσεως επιδρά σημαντικά η φάση (υγρή ή αέρια), στην οποία βρίσκεται το νερό, που παράγεται ως προϊόν της καύσεως. Ορίζομε ως ***ανώτερη θερμογόνο δύναμη*** τη θερμογόνο δύναμη που αντιστοιχεί σε υγρή φάση του νερού στο τέλος της καύσεως και ως ***κατώτερη θερμογόνο δύναμη,*** όταν το νερό έχει τη μορφή ατμού. Η διαφορά της ανώτερης και της κατώτερης θερμογόνου δυνάμεως ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεως της μάζας του νερού, που παράγεται κατά την καύση 1 kg καυσίμου στη συγκεκριμένη θερμοκρασία T του πειράματος της καύσεως. Η διαφορά αυτή κυμαίνεται μεταξύ του 10% και 20%, οπότε είναι πολύ σημαντική για να αμεληθεί. Η χρησιμοποίηση της μιας ή της άλλης θερμογόνου δυνάμεως εξαρτάται από την κατάσταση του νερού στο τέλος της καύσεως.

Στους εμβολοφόρους κινητήρες, όπου η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι υψηλή, το νερό έχει τη μορφή ατμού, οπότε ***χρησιμοποιείται πάντα η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου.***

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ. διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς το είδος των υδρογονανθράκων που τα απαρτίζουν. Διαφέρουν όμως ελάχιστα, ως προς τη στοιχειακή τους σύσταση, την περιεκτικότητά τους δηλαδή σε άνθρακα και υδρογόνο. Συνεπώς, δεν πρέπει να εμφανίζουν σημαντικές διαφορές ως προς την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση των υπολογισμών ένα μέσο καύσιμο, το ***κανονικό καύσιμο***, με συγκεκριμένη σύνθεση και θερμογόνο δύναμη ίση με 42.500 kJ/kg.

Για ακριβείς υπολογισμούς απαιτείται η γνώση της στοιχειομετρικής συστάσεως του καυσίμου. Σύμφωνα με τη σύσταση αυτή, υπολογίζεται αναλυτικά η ακριβής θερμογόνος δύναμη, διαδικασία που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Η στοιχειομετρική σύσταση του καυσίμου δίδεται από την προμηθεύτρια εταιρεία πετρελαιοειδών, μαζί με στοιχεία για το ιξώδες, την περιεκτικότητα σε θείο, την πυκνότητα κ.λ.π.

3.1.6 Η καύση στους βενζινοκινητήρες.

Η μεγάλη πτητικότητα της βενζίνης και το μεγαλύτερο διατιθέμενο χρονικό διάστημα (επειδή το μείγμα παρασκευάζεται συνήθως εκτός του θαλάμου καύσεως) επιτρέπει τη σχεδόν πλήρη εξάτμισή της και την ομοιόμορφη ανάμειξή της με τον αέρα πριν την έναρξη της καύσεως. Έτσι η καύση στους βενζινοκινητήρες πραγματοποιείται πολύ πιο γρήγορα απ' ό,τι στους πετρελαιοκινητήρες. Η καύση ξεκινά, όταν το έμβολο βρίσκεται κοντά στο ΑΝΣ, διαρκεί ελάχιστο σχετικά χρόνο και ως εκ τούτου μπορεί με πολύ καλή προσέγγιση να θεωρηθεί ότι πραγματοποιείται υπό σταθερό όγκο (κάτι που δεν συμβαίνει με την καύση στους πετρελαιοκινητήρες).

Η καύση ξεκινά με τη δημιουργία του σπινθήρα και εξαπλώνεται με σταθερή ταχύτητα και σχεδόν σφαιρικά σε όλο το χώρο του θαλάμου καύσεως. Όταν η ανάπτυξη της φλόγας γίνεται ομοιόμορφα, κατά μέτωπο και με σταθερή ταχύτητα, επιτυγχάνεται η λεγόμενη ***ομαλή καύση***. Στην περίπτωση που εμφανίζεται και δεύτερο ή περισσότερα μέτωπα καύσεως εκτός του κανονικού μετώπου μεταδόσεως της φλόγας, έχομε το φαινόμενο της ***αυταναφλέξεως***. Η αυτανάφλεξη μπορεί να προηγηθεί της κανονικής αναφλέξεως από το σπινθήρα, οπότε έχομε το φαινόμενο της ***προαναφλέξεως***. Στην περίπτωση που η καύση πραγματοποιείται με μεταβαλλόμενο ρυθμό (μεταβαλλόμενη ταχύτητα καύσεως) και συνοδεύεται από ισχυρές μεταβολές της πιέσεως, έχομε το φαινόμενο της ***κρουστικής καύσεως***, το οποίο συνοδεύεται από χαρακτηριστικό θόρυβο και ταλαντώσεις του κινητήρα (πειράκια). Η αυτανάφλεξη του καυσίμου συνοδεύεται συνήθως από κρουστική καύση.

Κατά την κρουστική καύση το μέτωπο της φλόγας κινείται με ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες. Το φαινόμενο προκαλεί υψηλή μηχανική και θερμική καταπόνηση του συγκροτήματος εμβόλου - διωστήρα - στροφάλου, καθώς και μείωση της ισχύος του κινητήρα. Αιτίες της κρουστικής καύσεως είναι η χαμηλή ποιότητα του καυσίμου, η ανομοιόμορφη κατανομή του μείγματος εντός του κυλίνδρου, η κακή ψύξη των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, ο υψηλότερος του κανονικού βαθμός συμπιέσεως και η παρουσία πυρωμένων (ανθρακούχων - μολυβδούχων) καταλοίπων (επικαθήσεων) στο χώρο της καύσεως (***πυρανάφλεξη***).

Κακή ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα προ-

καλεί μείωση της ταχύτητας με την οποία μεταδίδεται το μέτωπο της καύσεως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αποδιδόμενης ισχύος (μείωση της μέγιστης πιέσεως και της μέγιστης θερμοκρασίας εντός του κυλίνδρου).

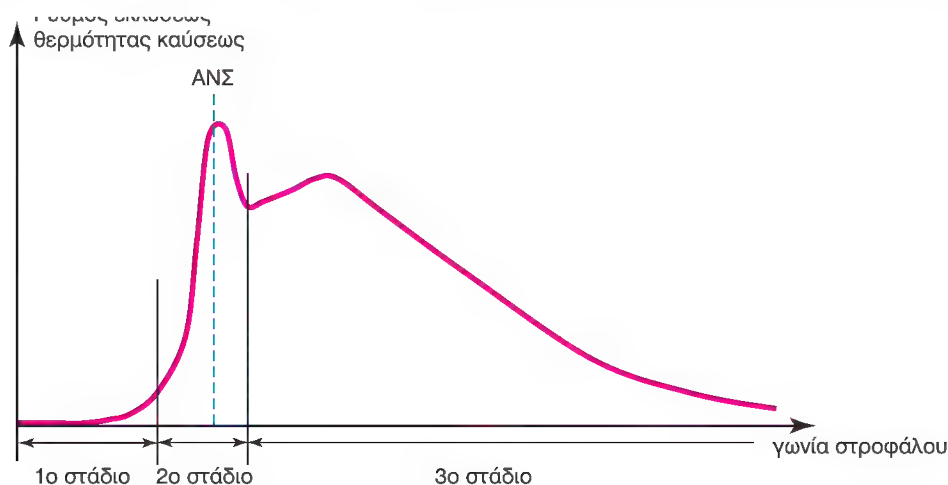
Η επικρατούσα θεωρία όσον αφορά την ανάπτυξη του μετώπου της φλόγας είναι η θεωρία των αλυσιδωτών αντιδράσεων. Σύμφωνα με αυτή, μερικά στοιχεία του καυσίμου με μεγάλη ικανότητα αντιδράσεως με το οξυγόνο προηγούνται στην καύση. Στη συνέχεια προκαλούν την αντίδραση του οξυγόνου με τα υπόλοιπα λιγότερο ενεργά στοιχεία. Στα όρια της φλόγας η επίδραση της καύσεως των πιο ενεργών στοιχείων δεν μπορεί να επεκταθεί πολύ μέσα στο άκαυστο μείγμα, με αποτέλεσμα η φλόγα να αναπτύσσεται αναγκαστικά κατά μέτωπο. Στην περίπτωση όμως που η θερμοκρασία του άκαυστου μείγματος υπερβεί τοπικά κάποιο όριο, τα ενεργά αυτά συστατικά αναφλέγονται προκαλώντας την αυτανάφλεξη του μείγματος. Τον περιορισμό της δράσεως των ενεργών αυτών συστατικών αναλαμβάνουν ειδικά πρόσθετα (όπως ο μόλυβδος), τα οποία προκαλούν ανάσχεση της παραπάνω αλυσιδωτής αντιδράσεως, μειώνοντας τον κίνδυνο αυταναφλέξεως του καυσίμου.

Η καύση στους βενζινοκινητήρες πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο αντιστοιχεί στην ***περίοδο καθυστερήσεως*** της αναπτύξεως της πιέσεως, ενώ διαρκεί όσο χρόνο απαιτεί ο σχηματισμός αυτοσυντηρούμενου κεντρικού πυρήνα φλόγας μικρού όγκου γύρω από το σπινθηριστή. Ο χρόνος που διαρκεί είναι γενικά ανεξάρτητος της ταχύτητας που περιστρέφεται ο άξονας της μηχανής.

Το δεύτερο στάδιο είναι ***το στάδιο της διαδόσεως του μετώπου*** της φλόγας. Η ταχύτητα μεταδόσεως του μετώπου αυξάνεται σημαντικά με την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής, λόγω του ισχυρού στροβιλισμού της ροής (τυρβώδης ροή), που προκαλεί η ταχύτατη κίνηση του εμβόλου. ***Η αύξηση αυτή της ταχύτητας της καύσεως είναι σχεδόν ανάλογη με την αύξηση των στροφών.*** Αυτό επιτρέπει την επίτευξη της καύσεως ακόμη και σε πολύ υψηλές στροφές, όπου ο διαθέσιμος χρόνος για τη μετάδοση του μετώπου περιορίζεται σημαντικά, ενώ αντίστοιχα η γωνία στροφάλου, που διαρκεί η καύση, είναι σχεδόν σταθερή και ανεξάρτητη των στροφών του κινητήρα.

3.1.7 Η καύση στους πετρελαιοκινητήρες.

Η ***καύση στους πετρελαιοκινητήρες*** δεν ξεκινά με την βοήθεια σπινθήρα. Προκαλείται αυτανάφλεξη του καυσίμου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα (αποτέλεσμα της υψηλής συμπιέσεώς του). Οι χημικές αντιδράσεις της καύσεως ξεκινούν από τη στιγμή που το πρώτο σταγονίδιο του καυσίμου θα εγχυθεί από το ακροφύσιο εντός του θαλάμου καύσεως. Ωστόσο, ο ρυθμός καύσεως αρχικά είναι αρκετά χαμηλός και απαιτείται ένα χρονικό διάστημα, μέχρι να επιτευχθεί τοπικά υψηλότερη θερμοκρασία και ορατή ανάπτυξη μετώπου καύσεως. Το χρονικό αυτό διάστημα ονομάζεται ***περίοδος υστερήσεως εναύσεως*** και είναι ουσιαστικός παράγοντας κατά τη λειτουργία των πετρελαιομηχανών, αποτελεί δε το πρώτο στάδιο της καύσεως (σχ. 3.1α). Για το λόγο αυτό, απαιτείται έναρξη της εγχύσεως αρκετά πριν το ΑΝΣ. Κατ' αυτόν τον τρόπο δίδεται ο απαραίτη-



Σχ. 3.1α.
Τα στάδια της καύσεως σε πετρελαιοκινητήρα. 1ο στάδιο: καθυστέρηση εναύσεως. 2ο στάδιο: καύση προαναμείξεως (ανεξέλεγκτη καύση). 3ο στάδιο: ελεγχόμενη καύση (τυρβώδους διαχύσεως).

τος χρόνος για να αναπτυχθεί η καύση, έως ότου το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ. Η περίοδος καθυστερήσεως είναι χρονικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του βενζινοκινητήρα, ενώ είναι και αυτή ανεξάρτητη των στροφών. Ο ψεκασμός του καυσίμου διαρκεί και για κάποιο (μικρό) χρονικό διάστημα μετά το ΑΝΣ, ώστε να επιτευχθεί η κατά το δυνατόν ομοιόμορφη διανομή του στον όγκο του θαλάμου καύσεως.

Το σημείο ή τα σημεία της εναύσεως δεν είναι προκαθορισμένα, όπως στην περίπτωση των βενζινοκινητήρων και μπορεί να μεταβάλλονται σε κάθε κύκλο, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν εντός του κυλίνδρου. Παράλληλα, η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα είναι εντελώς ανομοιόμορφη, ενώ στην περιοχή γύρω από το ακροφύσιο υπάρχουν μία ή περισσότερες κεντρικές δέσμες καυσίμου σε υγρή ακόμη μορφή (ανάλογα με τον τύπο της μηχανής). Έτσι η καύση στους πετρελαιοκινητήρες είναι ένα φαινόμενο καθαρά τοπικό και εξαρτάται από τις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στα διάφορα σημεία του όγκου του θαλάμου καύσεως. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη μετωπική ανάπτυξη της φλόγας που παρατηρείται στους βενζινοκινητήρες.

Η υψηλή θερμοκρασία του αέρα επιτρέπει στα πιο ενεργά στοιχεία του καυσίμου να αναφλέγονται χωρίς τη βοήθεια εξωτερικής πηγής και να προκαλούν αλυσιδωτά την ανάφλεξη και των λιγότερο ενεργών στοιχείων του. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεση που προκαλεί η καύση, εξαναγκάζονται σε ανάφλεξη και γειτονικές περιοχές που δεν είχαν φτάσει μέχρι τη στιγμή εκείνη στις κατάλληλες συνθήκες.

Μετά το στάδιο της καθυστερήσεως ακολουθεί το δεύτερο στάδιο της ***ανεξέλεγκτης καύσεως***, που συνοδεύεται από απότομη αύξηση της πιέσεως και υψηλό ρυθμό εκλύσεως θερμότητας. Στο στάδιο αυτό καίγεται το προετοιμασμένο στο προηγούμενο στάδιο μείγμα (***διάδοση φλόγας προαναμείξεως***). Στην περίπτωση που το πρώτο στάδιο διαρκέσει πολύ, επιτυγχάνεται πολύ καλή ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα και υψηλός βαθμός εξατμίσεως του καυσίμου. Τότε υπάρχει μεγάλη ποσότητα προετοιμασμένου μείγματος, οπότε στο δεύτερο στάδιο μπορεί η πίεση να φτάσει σε απαγορευτικά επίπεδα (***κρουστική καύση Diesel***). Είναι συνεπώς ουσιώδης η μείωση του χρόνου υστερήσεως. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται είτε με αύξηση του στροβιλισμού, είτε με χρήση καυσίμου υψηλότερου αριθμού κετανίου, είτε με χρήση πιλοτικής εγχύσεως. Λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων που επικρατούν στο εσωτερικό του θαλάμου καύσεως δεν γίνεται άμεσα αντιληπτή η κρουστική καύση, όπως συμβαίνει στην αντίστοιχη περίπτωση των βενζινοκινητήρων.

Το τρίτο στάδιο είναι το στάδιο της ***ελεγχόμενης καύσεως***, όπου η καύση πραγματοποιείται χωρίς καθυστέρηση και ο ρυθμός της ελέγχεται από το εγχυόμενο καύσιμο. Η φλόγα είναι ***τυρβώδους διαχύσεως***.

Η ταχύτητα της καύσεως στην περίπτωση του πετρελαιοκινητήρα είναι αρκετά χαμηλότερη από την αντίστοιχη των βενζινοκινητήρων. Το γεγονός αυτό δεν είναι αποτέλεσμα της ελλείψεως σπινθηριστή αλλά προκαλείται από την ανομοιόμορφη ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα και τη μειωμένη ατμοποίησή του. Η μειωμένη ατμοποίηση οφείλεται στη μικρότερη πτητικότητα του πετρελαίου και στο πολύ μικρό διαθέσιμο χρονικό διάστημα. Ο τύπος του πετρελαίου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα της καύσεως, με τα βαρύτερα καύσιμα να επιτυγχάνουν χαμηλότερους ρυθμούς καύσεως. Επειδή το πρώτο στάδιο της καύσεως είναι πρακτικά σταθερό και ανεξάρτητο της ταχύτητας περιστροφής, προκύπτει ένα ανώτερο όριο στροφών, για το οποίο μπορεί να επιτευχθεί η καύση σε πετρελαιοκινητήρες (περίπου 5000 rpm).

3.1.8 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση.

α) Βενζινοκινητήρες.

Η καύση, η οποία στους βενζινοκινητήρες είναι σχεδόν ισόογκη, συνοδεύεται από αύξηση της πιέσεως εντός του κυλίνδρου. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας και στην κίνηση του μετώπου της φλόγας. Η αύξηση αυτή της πιέσεως είναι προοδευτική, καθώς αναπτύσσεται το μέτωπο της φλόγας. Στα πρώτα στάδια παρατηρείται μικρή αύξηση της πιέσεως, ενώ μεγαλύτερη αύξηση της πιέσεως παρατηρείται μόνο στο τελευταίο στάδιο, όταν το μέτωπο φτάνει στα τοιχώματα του θαλάμου καύσεως. Έτσι παρατηρείται μια υστέρηση στην αύξηση της πιέσεως μέσα στο θάλαμο καύσεως από τη στιγμή της αναφλέξεως μέχρι τη στιγμή της μέγιστης πιέσεως. Το γεγονός αυτό επιβάλλει την προπορεία της εναύσεως του σπινθήρα, πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ. Αυτή η χρονική υστέρηση είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας της καύσεως. ***Η γωνία στροφάλου μεταξύ της εναύσεως του σπινθήρα και της μέγιστης πιέσεως στον κύλινδρο ονομάζεται γωνία καύσεως (ή αντίστοιχα χρόνος καύσεως).***

Στους βενζινοκινητήρες σημαντική επίδραση στην ταχύτητα της καύσεως έχει η ταχύτητα περιστροφής

του στροφαλοφόρου άξονα. Με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής αυξάνεται σχεδόν αναλογικά και η ταχύτητα της καύσεως, ***οπότε ανεξάρτητα από τις στροφές του κινητήρα η καύση διαρκεί το ίδιο διάστημα γωνίας στροφάλου.*** Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη λειτουργία των βενζινοκινητήρων, γιατί επιτρέπει την πραγματοποίηση της καύσεως ακόμη και σε πολύ υψηλές στροφές. Το σημαντικό αυτό γεγονός είναι αποτέλεσμα της αυξήσεως του επιπέδου της τύρβεως (έντονος στροβιλισμός της ροής) που προκαλείται από την αύξηση της ταχύτητας του εμβόλου. Με κατάλληλο σχεδιασμό του εμβόλου και των αγωγών εισαγωγής μπορεί να αυξηθεί σημαντικά το επίπεδο της τύρβεως, οπότε αυξάνεται αντίστοιχα η ταχύτητα της καύσεως και μειώνεται η γωνία στροφάλου στην οποία αντιστοιχεί.

Η ταχύτητα της καύσεως αυξάνεται με την αύξηση της αρχικής πιέσεως εισόδου στον κύλινδρο, οπότε αντίστοιχα μειώνεται η γωνία στροφάλου που αντιστοιχεί στην καύση. Έτσι σε υπερπληρούμενους κινητήρες η καύση διαρκεί λιγότερες μοίρες, ενώ σε αεροπορικούς μη υπερπληρούμενους κινητήρες που λειτουργούν σε μεγάλα ύψη (χαμηλή πίεση) η καύση απαιτεί για την πραγματοποίησή της μεγαλύτερη γωνία στροφάλου.

Η θέση του σπινθηριστή παίζει σημαντικό ρόλο στο χρόνο που διαρκεί η καύση (άρα και στην αντίστοιχη γωνία στροφάλου). Αυτό οφείλεται στη διαφορετική απόσταση που πρέπει να διανύσει το μέτωπο της φλόγας, για να καλύψει ολόκληρο τον όγκο του θαλάμου καύσεως για διαφορετικές θέσεις του σπινθηριστή.

Ο λόγος καυσίμου-αέρα επηρεάζει επίσης την ταχύτητα της καύσεως. Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας (και η ελάχιστη της γωνίας καύσεως) επιτυγχάνεται για ελαφρώς πλούσια μείγματα (τιμή του φ ίση περίπου με 1,2). Για τιμές του φ μικρότερες του 0,6 (πολύ φτωχά μείγματα) το μέτωπο της φλόγας δεν αναπτύσσεται.

β) Πετρελαιοκινητήρες.

Σε αντίθεση με τους βενζινοκινητήρες, στους πετρελαιοκινητήρες η εξέλιξη ***και η ποιότητα της καύσεως εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το σχήμα του θαλάμου καύσεως*** (κατάλληλη διαμόρφωση του άνω τμήματος εμβόλου και κάτω τμήματος του πώματος) και ***από τον τύπο του συστήματος εγχύσεως.*** Έτσι δεν μπορούν να εξαχθούν γενικευμένα ποσοτικά συμπεράσματα για όλους τους τύπους των κινητήρων, παρά μόνο ποιοτικά.

Η ***ποιότητα της εγχύσεως*** είναι βασικότατος παράγοντας για να επιτευχθεί καλή ποιότητα καύσεως και μειωμένη υστέρηση της εναύσεως. Η διάταξη και η μορφή των εγχυτήρων εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του κινητήρα και από το σχήμα του θαλάμου καύσεως, ενώ η βέλτιστη σχεδίαση είναι προϊόν θεωρητικής έρευνας, πειραματικών δοκιμών και διαρκούς εξελίξεως. Το ζητούμενο κατά τη σχεδίαση των εγχυτήρων είναι η πολύ καλή διείσδυση του καυσίμου στον αέρα (υψηλής πιέσεως), η ομαλή διανομή του σε όλο τον όγκο του θαλάμου καύσεως, ο πολύ καλός διασκορπισμός, η εξάτμιση και η καλή ανάμειξή του με το συμπιεσμένο αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με ισχυρές δέσμες καυσίμου που εγχύονται υπό υψηλή πίεση και ταχύτητα προς πολλαπλές διευθύνσεις.

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση του κινητήρα είναι ο ***χρονισμός της ενάρξεως της εγχύσεως του καυσίμου.*** Επειδή, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει χρονική υστέρηση μεταξύ της ενάρξεως της εγχύσεως και της ουσιαστικής ενάρξεως της καύσεως, θα πρέπει η έγχυση να ξεκινά μερικές μοίρες πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ. Έτσι η καύση θα βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη μετά το ΑΝΣ. Η βέλτιστη απόδοση του κινητήρα επιτυγχάνεται, όταν η πίεση εντός του κυλίνδρου φτάνει τη μέγιστη τιμή της περίπου 15^o - 20^o μετά το ΑΝΣ, αντιστοιχώντας σε έναρξη της εγχύσεως περίπου 15^o - 25^o πριν το ΑΝΣ. Το σημείο ενάρξεως της εγχύσεως (σε γωνία στροφάλου) είναι συνήθως σταθερό για τους πετρελαιοκινητήρες και δεν μεταβάλλεται με τις στροφές, όπως γίνεται συνήθως στους βενζινοκινητήρες.

Στους βενζινοκινητήρες η ταχύτητα της καύσεως αυξάνεται σχεδόν ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα (οδηγώντας έτσι σε σχεδόν σταθερή γωνία στροφάλου που αντιστοιχεί στην καύση, ανεξάρτητα των στροφών). Αντίθετα, στους πετρελαιοκινητήρες, ***το πρώτο τμήμα της χρονικής υστερήσεως της καύσεως είναι σχεδόν ανεξάρτητο των στροφών. Έτσι, όταν αυτές αυξάνονται, η ουσιαστική έναρξη της καύσεως μετατοπίζεται σε μεγαλύτερη γωνία στροφάλου (για σταθερή γωνία στροφάλου στην οποία ξεκινά η έγχυση).*** Στη συνέχεια, η κυρίως καύση συμπεριφέρεται, όπως και η αντίστοιχη της βενζίνης, οπότε η γωνία στροφάλου που αυτή διαρκεί, είναι σχεδόν ανεξάρτητη των στροφών.

Η αύξηση των στροφών του κινητήρα αυξάνει την ταχύτητα της κύριας καύσεως μέσω της αυξήσεως του επιπέδου της τύρβεως (έντονος στροβιλισμός της ροής). Η έντονα τυρβώδης ροή δεν επιδρά ιδιαίτερα στην αύξηση του ρυθμού των χημικών αντιδρά-

σεων (όπως συμβαίνει στους βενζινοκινητήρες). Κυρίως αυξάνει το επίπεδο της αναμείξεως του καυσίμου με τον αέρα και βελτιώνει την εξάτμισή του, αυξάνοντας συνακόλουθα την ταχύτητα της καύσεως. Το επίπεδο της τύρβεως μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με κατάλληλο σχεδιασμό του εμβόλου, των αγωγών και των θυρίδων (ή βαλβίδων) εισαγωγής. Το υψηλό επίπεδο τύρβεως είναι ιδιαίτερα σημαντικό στους μικρούς πετρελαιοκινητήρες, όπου η ποιότητα της εγχύσεως είναι χειρότερη λόγω της υπάρξεως εγχυτήρων μιας οπής. Η έντονη τύρβη επιτυγχάνεται με την κατάλληλη σχεδίαση του άνω τμήματος του εμβόλου και των αγωγών εισαγωγής του αέρα.

Η ποσότητα του καυσίμου που εγχύεται μέσα στον κύλινδρο, δεν έχει σημαντική επίδραση στην αύξηση ή στη μείωση του χρόνου υστερήσεως της καύσεως. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η καύση είναι φαινόμενο εντελώς τοπικό στους πετρελαιοκινητήρες και η εξέλιξή της στο αρχικό στάδιο δεν εξαρτάται από συνολικά μεγέθη. Έτσι η καύση στους κινητήρες Diesel μπορεί να πραγματοποιηθεί σχετικά εύκολα και με μικρές ποσότητες καυσίμου (φτωχά μείγματα). Όταν αυξηθεί ιδιαίτερα η εγχυόμενη ποσότητα του καυσίμου, η καύση γίνεται ατελής, με αποτέλεσμα να εξέρχεται μαύρος καπνός (αιθάλη - σωματίδια άνθρακα) από τον κινητήρα, ενώ αυξάνονται ιδιαίτερα οι επικαθήσεις εξανθρακωμάτων στους κυλίνδρους και στις έδρες των βαλβίδων. Ο καπνός μπορεί να παράγεται ακόμη και σε πτωχά μείγματα, όπου θεωρητικά, υπάρχουν οι προϋποθέσεις για τέλεια καύση. Στις περιπτώσεις αυτές ο καπνός οφείλεται στην κακή ποιότητα εγχύσεως (κακορυθμισμένοι ή ελαττωματικοί εγχυτήρες) και στη χαμηλή θερμοκρασία των χιτωνίων του κυλίνδρου (κατά τη διάρκεια της εκκινήσεως της μηχανής, χωρίς χρήση προθερμάνσεως).

Η αύξηση της πιέσεως του αέρα και η παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας του βελτιώνει την αυτανάφλεξη του καυσίμου. Έτσι με την αύξηση του λόγου συμπιέσεως του κινητήρα μειώνεται η υστέρηση της εναύσεως. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και όταν ο αέρας εισαγωγής έχει υψηλή αρχική θερμοκρασία ή είναι υψηλή η θερμοκρασία των χιτωνίων. Αντίστοιχη επίδραση έχει και η υπερπλήρωση (ειδικά, όταν δεν παρεμβάλλεται εναλλάκτης θερμότητας για την ψύξη του εισερχόμενου αέρα). Η υψηλή πίεση και θερμοκρασία του αέρα κατά την υπερπλήρωση του κινητήρα διευκολύνουν την αυτανάφλεξη του καυσίμου και συνακόλουθα, μειώνουν την υστέρηση κατά την έναρξη της καύσεως.

3.2 Σάρωση.

3.2.1 Γενικά.

Η καύση του καυσίμου εντός του κυλίνδρου προϋποθέτει την εισαγωγή καθαρού αέρα, αφού πρώτα απομακρυνθούν τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου. Στις τετράχρονες μηχανές υπάρχει αρκετός χρόνος για τη διαδικασία της απομακρύνσεως των καυσαερίων και την είσοδο του καθαρού αέρα με φυσική ροή λόγω της κινήσεως του εμβόλου. Αντιθέτως, στις δίχρονες μηχανές δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χρόνος για την απομάκρυνση, οπότε απαιτείται ***εξαναγκασμένη*** απαγωγή των καυσαερίων και στη συνέχεια πλήρωση του κυλίνδρου με καθαρό αέρα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ***σάρωση***. Σκοπός της σαρώσεως είναι ο καλύτερος και συντομότερος καθαρισμός των κυλίνδρων ***δίχρονης μηχανής*** από τα καυσαέρια, αλλά και η πλήρωσή τους με αυξημένη ποσότητα καθαρού αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της ***αντλίας σαρώσεως***, έτσι ώστε να έχομε αύξηση στην απόδοση της μηχανής.

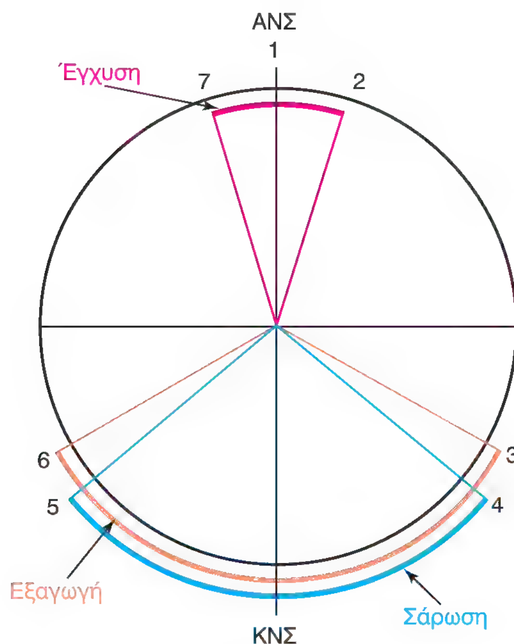
Στην περίπτωση που απουσιάζει η αντλία σαρώσεως, αρκετή ποσότητα καυσαερίων του προηγούμενου κύκλου παραμένει εντός του κυλίνδρου, μειώνοντας την ποσότητα του νεοεισερχόμενου αέρα, άρα και την ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να καεί. Συνεπώς, η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα θα είναι αρκετά μικρότερη από τη βέλτιστη δυνατή, που επιτυγχάνεται στην ιδανική περίπτωση της πλήρους αποπλύσεως των κυλίνδρων από τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου (και την πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα ατμοσφαιρικής πιέσεως).

Στις δίχρονες μηχανές ο κύκλος λειτουργίας πραγματοποιείται σε μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα (360^o). Το σπειροειδές διάγραμμα του σχήματος 3.2α αναφέρεται σε δίχρονη μηχανή με θυρίδες εξαγωγής χωρίς υπερπλήρωση. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η θυρίδα εξαγωγής αποκαλύπτεται και ξεκινά η φάση της εξαγωγής 110^o - 120^o μετά το ΑΝΣ (σημείο 3). Σε εκείνο το σημείο η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου είναι ίση περίπου με 5 bar (το ίδιο θα συμβεί, αν αντί για θυρίδα υπάρχει βαλβίδα εξαγωγής). Στο σημείο (4), 15^o - 25^o μετά την έναρξη της εξαγωγής, ανοίγουν οι θυρίδες σαρώσεως και αρχίζει η σάρωση του κυλίνδρου με πίεση σαρώσεως ίση περίπου με 0,2 - 0,3 bar (σχετική πίεση). Η πίεση εξαγωγής των καυσαερίων είναι περίπου 0,1 - 0,2 bar πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση. Το έμβολο τότε φθάνει στο ΚΝΣ, όπου τελειώνει ο πρώτος χρόνος.

Ανεβαίνοντας το έμβολο από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ κλείνει πρώτα τις θυρίδες σαρώσεως (σημείο 5) και μετά τις θυρίδες εξαγωγής (σημείο 6). Ακολουθούν οι φάσεις της συμπιέσεως, εγχύσεως, καύσεως του καυσίμου και εκτονώσεως των καυσαερίων. Η σάρωση διαρκεί από 60° έως 100° και η εξαγωγή των καυσαερίων από 110° έως 140° περίπου.

Αν το άνοιγμα των θυρίδων ή βαλβίδων εξαγωγής γινόταν νωρίτερα από το σημείο (3) θα υπήρχε απώλεια ωφέλιμου έργου, διότι η πίεση στο έμβολο από τα καυσαέρια θα ήταν αρκετά μικρότερη. Αν το άνοιγμα γινόταν αργότερα, τότε θα μειωνόταν ο χρόνος σαρώσεως, οπότε ο κύλινδρος δεν θα καθάριζε πλήρως από τα καυσαέρια, με αποτέλεσμα την πτώση στην απόδοση της μηχανής.

Με την προπορεία αυτή της εξαγωγής (διάστημα 3-4), μειώνεται η πίεση των καυσαερίων και η σάρωση γίνεται σε χαμηλή πίεση, με αποτέλεσμα να είναι πιο αποδοτική. Αν η σάρωση άρχιζε στο σημείο (3), τότε θα έπρεπε ο αέρας σαρώσεως να έχει πίεση μεγαλύτερη από την πίεση των καυσαερίων, οπότε η αντλία θα απορροφούσε μεγαλύτερη ισχύ από τη μηχανή με αποτέλεσμα την ελάττωση της ισχύος στο στροφαλοφόρο άξονα.



Σχ. 3.2α.
Σπειροειδές διάγραμμα δίχρονης μη υπερπληρούμενης μηχανής με θυρίδες εξαγωγής. Έναρξη εξαγωγής (3) 110° - 120° μετά το ΑΝΣ, έναρξη σαρώσεως (4) 130° - 150° μετά το ΑΝΣ, έναρξη εγχύσεως καυσίμου 10° - 20° πριν το ΑΝΣ (7). Τα σημεία 5, 6 και 4, 3 είναι συμμετρικά τοποθετημένα.

Στο σημείο (5), κλείνει η θυρίδα σαρώσεως (τέλος εισαγωγής) και στο σημείο (6) κλείνει η θυρίδα εξαγωγής (τέλος εξαγωγής). Άρα από το σημείο (5) έως το σημείο (6), όπου οι θυρίδες εξαγωγής είναι ανοικτές, χάνεται μια ποσότητα αέρα με αποτέλεσμα να μειώνεται η ισχύς της μηχανής. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την κατάθλιψη μεγαλύτερης ποσότητας αέρα (1,4 - 1,6 φορές του όγκου των κυλίνδρων).

Σε παλαιότερες δίχρονες υπερπληρούμενες μηχανές υπήρχε περιστροφική βαλβίδα που έκλεινε και παγίδευε τον αέρα στον κύλινδρο, μόλις έκλειναν στο σημείο (5) οι θυρίδες σαρώσεως. Η βαλβίδα αυτή έχει καταργηθεί, γιατί παρουσίαζε προβλήματα κατά τη λειτουργία της.

Η αποτελεσματικότητα της σαρώσεως περιγράφεται με τη βοήθεια του βαθμού αποδόσεως σαρώσεως και του συντελεστή σαρώσεως οι οποίοι θα αναλυθούν λεπτομερώς στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

3.2.2 Συστήματα σαρώσεως.

Τα ***συστήματα σαρώσεως*** που χρησιμοποιούνται διακρίνονται, με βάση τη μορφή και την κατεύθυνση της ροής του εισερχόμενου αέρα στους κυλίνδρους αλλά και την πορεία των εξερχομένων καυσαερίων. Τα δύο βασικά συστήματα σαρώσεως είναι: α) ***το σύστημα επιστρεφόμενης ροής*** και β) ***το σύστημα ροής κατά μία διεύθυνση***, τα οποία και περιγράφονται στη συνέχεια, μαζί με τις διάφορες παραλλαγές τους που βρίσκονται σε χρήση (τόσο για τη σάρωση όσο και για την υπερπλήρωση, η οποία θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο).

α) Συστήματα επιστρεφόμενης ροής.

Στα συστήματα σαρώσεως επιστρεφόμενης ροής τόσο οι θυρίδες εισαγωγής (σαρώσεως), όσο και οι θυρίδες εξαγωγής βρίσκονται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου. Ο εισερχόμενος αέρας αναγκάζεται να διαγράψει μία διαδρομή προς το πώμα του κυλίνδρου και να επιστρέψει προς την κεφαλή του εμβόλου, ωθώντας τα καυσαέρια στην έξοδο. Στη μορφή αυτή της ροής οφείλουν το όνομά τους τα εν λόγω συστήματα, παραλλαγές των οποίων περιγράφονται στη συνέχεια.

1) Σύστημα εγκάρσιας σαρώσεως (σταυροειδής).

Στο σύστημα εγκάρσιας σαρώσεως (σχ. 3.2β), οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής βρίσκονται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου και είναι σχεδόν απέναντι τοποθετημένες, με περιφερειακή απόκλιση 15° - 60° περίπου.

Ο αέρας εισέρχεται από τις θυρίδες εισαγωγής και κινείται προς το πώμα, με τη βοήθεια κατάλληλης διαμορφώσεως στο άνω τμήμα του εμβόλου και κατάλληλης κλίσεως των θυρίδων και των αγωγών εισαγωγής προς τα πάνω. Φθάνοντας στο πώμα αναγκαστικά, επιστρέφει προς τα κάτω (υποβοηθούμενος από το κοίλο σχήμα της εσωτερικής επιφάνειας του πώματος) και οδηγείται στην απέναντι πλευρά του χιτωνίου, όπου βρίσκονται οι θυρίδες εξαγωγής. Τα καυσαέρια εξέρχονται από τις θυρίδες εξαγωγής πιεζόμενα από τον εισερχόμενο αέρα. Μόλις το έμβολο κινούμενο προς το ΑΝΣ, κλείσει και τις θυρίδες εξαγωγής, αρχίζει η συμπίεση του αέρα.

2) Σάρωση βρόγχου (ανάστροφη).

Στο σύστημα σαρώσεως βρόγχου (σχ. 3.2γ) οι θυρίδες εισαγωγής βρίσκονται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου και στη μια του πλευρά, ενώ οι θυρίδες εξαγωγής βρίσκονται ακριβώς επάνω από τις θυρίδες εισαγωγής. Κατ' αυτόν τον τρόπο όταν κατεβαίνει το έμβολο, πρώτα αποκαλύπτονται πλήρως οι θυρίδες εξαγωγής και στη συνέχεια αρχίζουν να αποκαλύπτονται οι θυρίδες σαρώσεως.

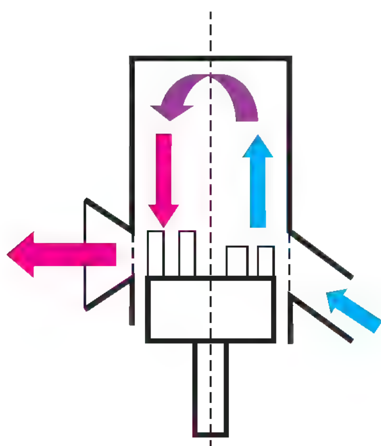
Ο αέρας εισερχόμενος στον κύλινδρο, κτυπά στο απέναντι τοίχωμα και αναγκάζεται να στραφεί προς τα πάνω. Κινούμενος προς τα πάνω κτυπά στο πώμα, αλλάζει κατεύθυνση και κινούμενος προς τα κάτω συναντά τις θυρίδες εξαγωγής (η κίνηση φαίνεται στο σχήμα 3.2γ). Μαζί με τα καυσαέρια εξέρχεται και μικρή ποσότητα αέρα. Ένα τμήμα των καυσαερίων έχει αναμειχθεί ήδη με τον εισερχόμενο αέρα και παραμένει εντός του κυλίνδρου.

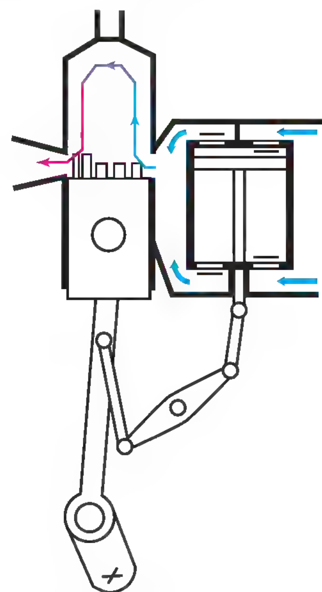
β) Συστήματα ροής κατά μία κατεύθυνση (ευθύγραμμη σάρωση).

Σε αυτή την κατηγορία συστημάτων σαρώσεως ο αέρας ρέει από τις θυρίδες σαρώσεως στο κάτω μέρος του κυλίνδρου και κατευθύνεται στροβιλιζόμενος προς τα πάνω, χωρίς να επιστρέφει. Η εξαγωγή των καυσαερίων γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

1) Σάρωση συνεχούς ροής με βαλβίδα εξαγωγής.

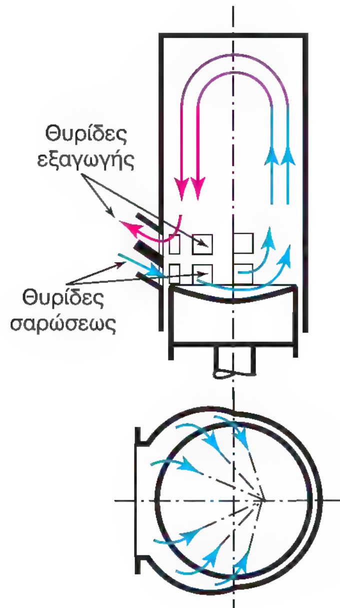
Ο αέρας εισέρχεται από τις θυρίδες σαρώσεως, που βρίσκονται διατεταγμένες στο κάτω μέρος του κυλίνδρου σε όλη την περιφέρειά του. Κατευθύνεται προς τα πάνω, έντονα στροβιλιζόμενος, και ωθεί τα καυσαέρια που εξέρχονται από τη βαλβίδα (ή βαλβίδες) εξαγωγής. Οι βαλβίδες αυτές βρίσκονται στην κορυφή του κυλίνδρου [σχ. 3.2δ(α) (β)]. Οι θυρίδες εισαγωγής έχουν τέτοια γεωμετρία ώστε να προκαλούν συστροφή του εισερχόμενου αέρα εντός του

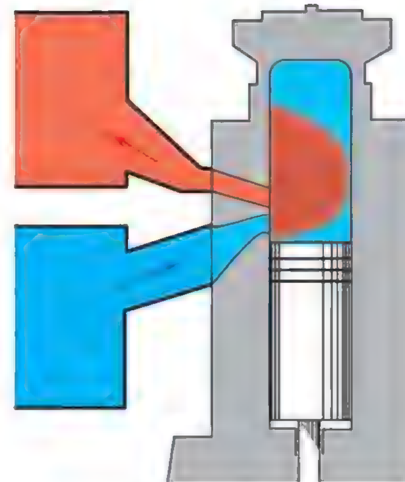




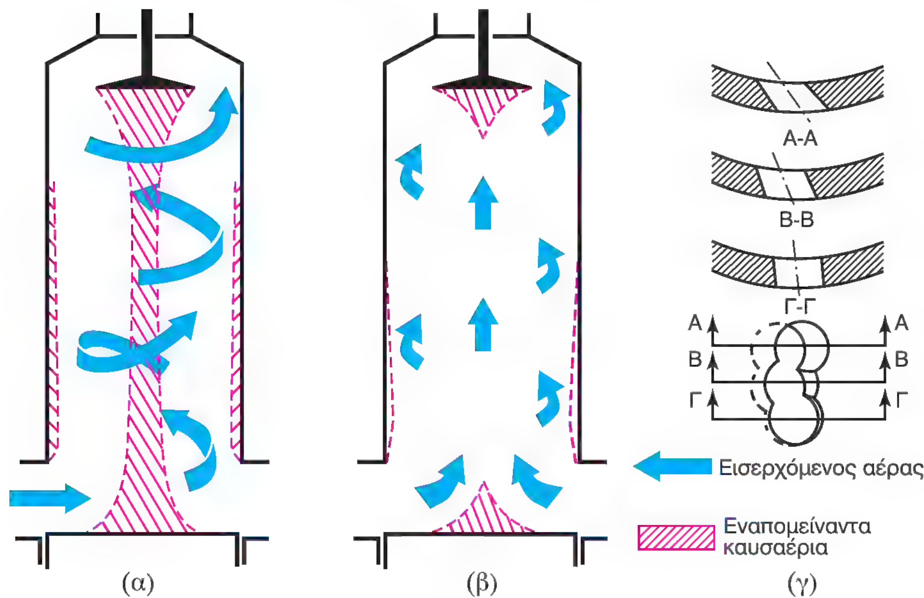
Σχ. 3.2β.
Σύστημα εγκάρσιας (σταυροειδούς) σαρώσεως.

κυλίνδρου, με μονή, διπλή ή τριπλή σπείρα [λεπτομέρεια σχήματος 3.2δ(γ)]. Με τη δημιουργία πολλαπλών σπειρών στην είσοδο του αέρα μειώνεται σημαντικά η δημιουργία πυρήνα καυσαερίων στο κέντρο του κυλίνδρου και ευμεγέθους στρώματος καυσαερίων στα τοιχώματα του χιτωνίου που δεν απομακρύνονται προς την εξαγωγή. Σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της σαρώσεως παίζει το μέγεθος, η θέση και ο αριθμός των βαλβίδων εξαγωγής. Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη στις μεγάλες σύγχρονες δίχρονες πετρελαιομηχανές, γιατί επιτυγχάνει την καλύτερη ποιότητα σαρώσεως.





Σχ. 3.2γ.
Σάρωση βρόγχου (ανάστροφη).



Σχ. 3.2δ.
Σάρωση συνεχούς ροής με βαλβίδα εξαγωγής. Στο (α) διακρίνεται το σύστημα με απλή σπείρα, στο (β) το σύστημα με πολλαπλές σπείρες, ενώ στο (γ) διακρίνεται η κατασκευαστική λεπτομέρεια της μεταβαλλόμενης κλίσεως στη θυρίδα σαρώσεως καθ' ύψος, για τη δημιουργία τριπλής σπείρας.

2) Σάρωση συνεχούς ροής αντιθέτων εμβόλων.

Το σύστημα αυτό αναφέρεται σε δίχρονες μηχανές ειδικού τύπου, οι οποίες λειτουργούν έχοντας για κάθε κύλινδρο δύο έμβολα που κινούνται αντίθετα [σχ. 3.2ε(α)]. Τα αντίθετα έμβολα είναι έτσι συνδεδεμένα ώστε να περιστρέφουν μέσω ξεχωριστών βάκτρων και διωστήρων τον ίδιο στροφαλοφόρο. Στο κάτω άκρο του κυλίνδρου βρίσκονται οι θυρίδες εισαγωγής, στο δε άνω άκρο του χιτωνίου βρίσκονται οι θυρίδες εξαγωγής. Οι θυρίδες εισαγωγής είναι έτσι διατεταγμένες (με εφαπτομενική είσοδο αέρα), ώστε να δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο ένας ελεγχόμενος στροβιλισμός του εισερχόμενου αέρα [σχ. 3.2ε(β)]. Συνήθως, ένα κεντρικό τμήμα (ο πυρήνας) του κοινού κυλίνδρου δεν σαρώνεται, οπότε έχομε μια πτώση στην απόδοση της σαρώσεως. Αυτό συνεπάγεται και πτώση στην απόδοση του κινητήρα. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιούν οι μηχανές ***Doxford, Fairbanks Morse***.

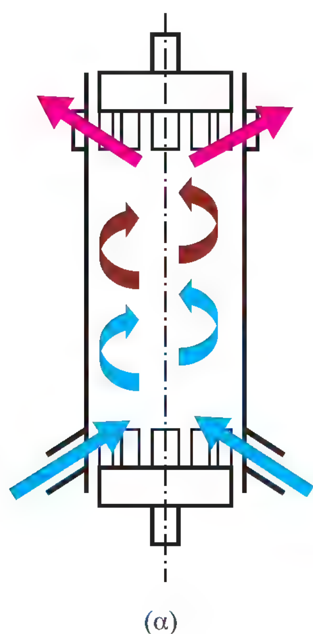
Στους κινητήρες αντιθέτων εμβόλων (σχ. 3.2ε) δεν χρησιμοποιείται ποτέ βοηθητική διάταξη, επειδή επιτυγχάνεται αποδοτική σάρωση μόνο με τη χρήση στροβιλοσυμπιεστή (ο οποίος θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο). Οι κινητήρες όμως αυτοί είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι και δυσκολοσυντήρητοι. Το σύστημα αυτό δεν χρησιμοποιείται πλέον σε νέες μηχανές. Οι τελευταίες μηχανές του τύπου αυτού κατασκευάστηκαν από τη Doxford το 1980.

3.2.3 Αντλίες σαρώσεως.

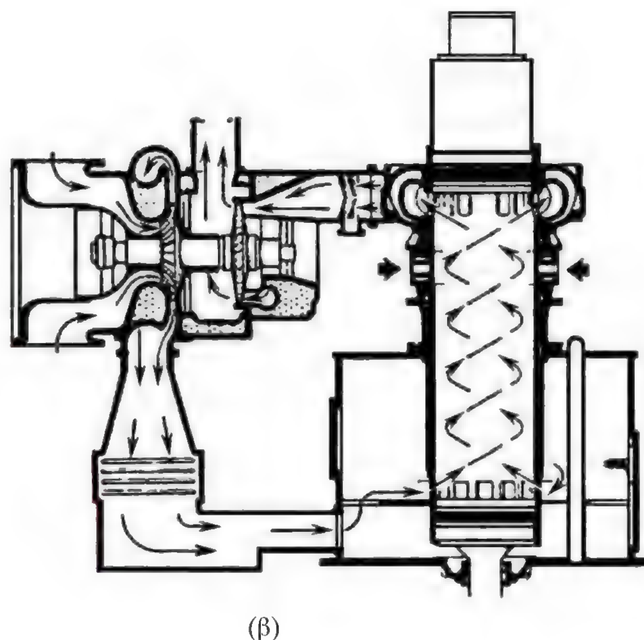
Για να εξαναγκαστεί ο καθαρός αέρας να εισρεύσει εντός του κυλίνδρου με ικανή παροχή και πίεση (και για να απομακρυνθούν στη συνέχεια τα καυσαέρια), είναι αναγκαία η χρήση ειδικών αντλιών αέρα (συμπιεστών). Τα είδη των αντλιών σαρώσεως που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται σήμερα, περιγράφονται στη συνέχεια.

α) Εμβολοφόρες αντλίες.

Η κατάθλιψη του αέρα από τις εμβολοφόρες αντλίες σαρώσεως πραγματοποιείται με την παλινδρομική κίνηση ενός ειδικού εμβόλου (με βάκτρο) εντός του κυλίνδρου της αντλίας. Είναι αντλίες διπλής ενέργειας, καταθλίβουν δηλαδή τον αέρα και από τις δύο πλευρές του εμβόλου (πάνω και κάτω) με εναλλαγή. Όταν η μία πλευρά του εμβόλου εκτελεί αναρρόφηση η άλλη βρίσκεται στη φάση της καταθλίψεως και αντίστροφα. Οι αντλίες αυτές παίρνουν κίνηση είτε από το στροφαλοφόρο άξονα, είτε από το ζύγωμα, είτε από το διωστήρα (σχ. 3.2στ). Σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα οι αντλίες εκτελούν δύο αναρροφήσεις και δύο καταθλίψεις.



(α)



(β)

Σχ. 3.2ε.
Σάρωση συνεχούς ροής αντιθέτων εμβόλων.

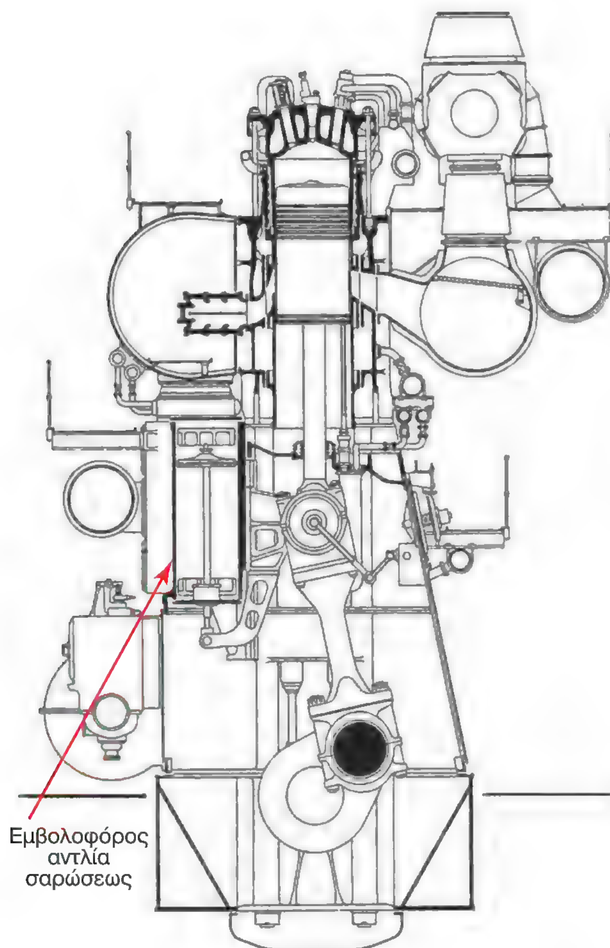
Μια μηχανή μπορεί να έχει μία ή περισσότερες αντλίες σαρώσεως, ανάλογα με την ισχύ της. Η πίεση σαρώσεως κυμαίνεται από 0,1 έως 0,5 bar πάνω από την ατμοσφαιρική. Η ισχύς που απορροφούν κατά μέσο όρο είναι της τάξεως του 5% της παραγόμενης ισχύος του κινητήρα, ανάλογα με την πίεση και την παροχή τους. Οι αντλίες αυτές σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους έχουν μεγάλο όγκο και βάρος και δεν βρίσκονται σε χρήση σήμερα. Τελευταία εταιρεία που κατήργησε το σύστημα, ήταν η FIAT το 1982.

β) Περιστροφικές αντλίες με λοβούς.

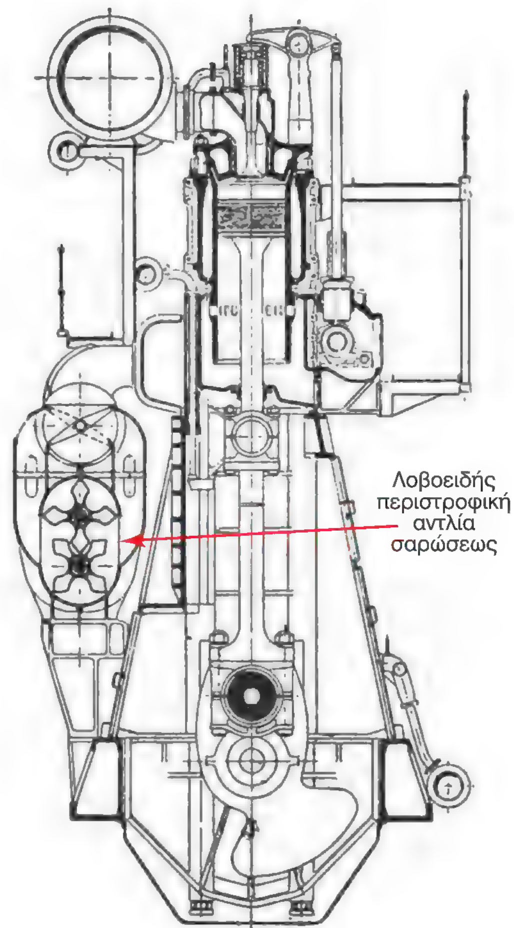
Αποτελούνται από δύο παράλληλα στροφεία με 3 ή 4 λοβούς. Τα στροφεία περιστρέφονται αντίθετα, εντός ειδικά διαμορφωμένου κελύφους (σχ. 3.2ζ). Το ένα στροφείο είναι κινητήριο, ενώ το δεύτερο παρασύρεται σε περιστροφή από το πρώτο, με τη βοήθεια εξωτερικών οδοντωτών τροχών. Οι δύο λοβοί των στροφείων που βρίσκονται σε επαφή, δεν επιτρέπουν τη δίοδο του αέρα ανάμεσά τους, ενώ αντίθετα, οι υπόλοιποι λοβοί μεταφέρουν τον αέρα προς την έξοδο, εγκλωβίζοντάς τον στο χώρο που ορίζουν δύο διαδοχικοί λοβοί και το κέλυφος της αντλίας. Έτσι ο αέρας κινείται περιφερειακά και από τις δύο κατευθύνσεις.

Τα διάκενα μεταξύ των λοβών και του κελύφους επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση της αντλίας. Μεγάλα διάκενα αυξάνουν τις εσωτερικές διαρροές, μειώνοντας την απόδοση της αντλίας. Αντίθετα, μικρά διάκενα προκαλούν υπερθέρμανση της αντλίας λόγω αυξημένων τριβών.

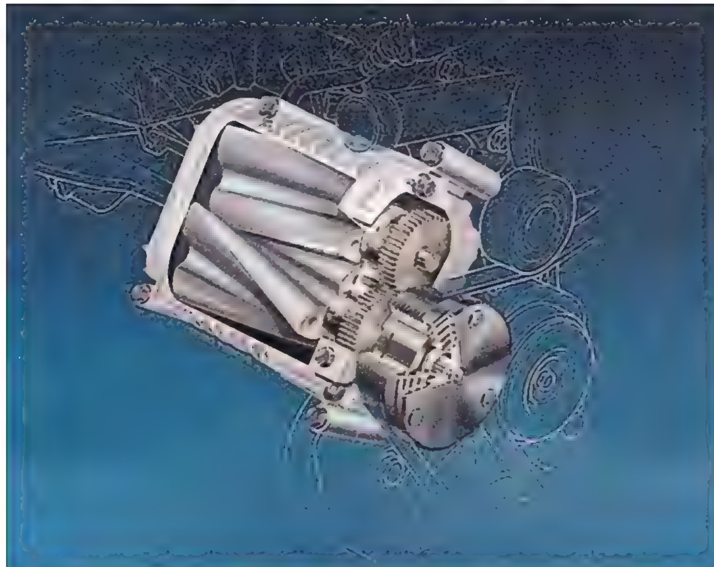
Στη σύγχρονη μορφή τους οι λοβοί έχουν ελικοειδή κλίση έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής κατάθλιψη, να αποφεύγονται παλμώσεις (που προκαλούν κακή σάρωση) και να ελαχιστοποιείται ο



Σχ. 3.2στ.
Μηχανή πλοίου FIAT με εμβολοφόρο αντλία σαρώσεως.



Σχ. 3.2ζ.
Μηχανή πλοίου με λοβοειδή περιστροφική αντλία σαρώσεως.



Σχ. 3.2η.
Κατασκευαστική λεπτομέρεια περιστροφικής αντλίας με ελικοειδείς λοβούς, όπου διακρίνονται τα γρανάζια μεταδόσεως κινήσεως μεταξύ των λοβών. Η μετάδοση της κινήσεως στην αντλία γίνεται μέσω ιμάντα.

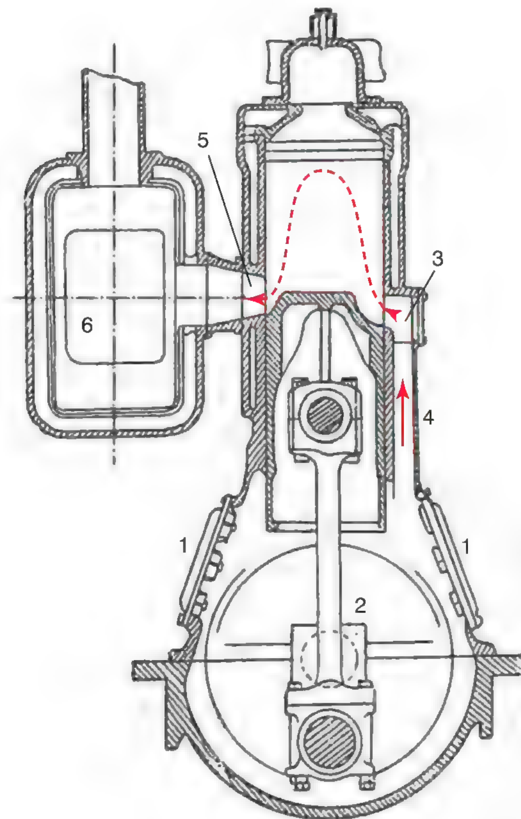
θόρυβος της λειτουργίας (σχ. 3.2η). Οι αντλίες αυτές, στην περίπτωση που τοποθετούνται μετωπικά στη μηχανή, παίρνουν κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα με τη βοήθεια γραναζιών. Με αλυσίδα (καδένα) ή οδοντωτό ιμάντα δέχονται την κίνηση, αν τοποθετούνται πλευρικά. Η απόδοσή τους είναι μικρότερη από αυτή των εμβολοφόρων αντλιών. Περιστρέφονται με μεγαλύτερο αριθμό στροφών και έχουν σημαντικά μικρότερο όγκο και βάρος. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται πλέον σε μικρές ταχύστροφες μηχανές.

γ) Σάρωση με τα έμβολα της μηχανής.

Η σάρωση μόνο με τα έμβολα της μηχανής εφαρμόζεται κυρίως στις μικρές δίχρονες μηχανές. Παλαιότερα, εφαρμοζόταν και στις μηχανές ***σεμιντίζελ*** (με πυροκεφαλή) με κλειστό στροφαλοθάλαμο. Οι μηχανές αυτές πλέον δεν κατασκευάζονται.

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται η προς τα κάτω κίνηση του εμβόλου, για να επιτευχθεί η προσυμπίεση του αέρα εισαγωγής εντός του στροφαλοθαλάμου (σχ. 3.2θ).

Κατά την ανοδική κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ δημιουργείται υποπίεση στο στροφαλοθάλαμο και εισάγεται αέρας από τις ανεπίστροφες βαλβίδες (κλαπέ) των θυρίδων προεισαγωγής (1). Κατά την κάθοδο του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κλείνουν οι ανεπίστροφες βαλβίδες (1) και συμπιέζεται ο εγκλωβισμένος στο στροφα-



Σχ. 3.2θ.
Μικρή δίχρονη πετρελαιομηχανή, όπου η σάρωση πραγματοποιείται με τη βοήθεια του εμβόλου.

λοθάλαμο αέρας (2). Όταν το έμβολο αποκαλύψει τις θυρίδες σαρώσεως (3), καταθλίβεται προς τον οχετό (4), σαρώνει τον κύλινδρο και εξάγει τα καυσαέρια από τις θυρίδες εξαγωγής (5), στο συλλέκτη (6) και από εκεί στην ατμόσφαιρα. Ο μεγάλος όγκος του στροφαλοθαλάμου έχει ως συνέπεια μικρές πιέσεις σαρώσεως και επομένως, την κακή σάρωση του κυλίνδρου και την κακή απόδοση του κινητήρα.

Το σύστημα αυτό δεν χρησιμοποιείται πλέον, αυτόνομα στις ναυτικές μηχανές, αλλά μόνο σε συνδυασμό με άλλα συστήματα σαρώσεως, όπως θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Χρησιμοποιείται όμως ευρύτατα στις δίχρονες μηχανές των δικύκλων και των μικρών ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

δ) Άλλοι τύποι αντλιών σαρώσεως.

Εκτός των παραπάνω αντλιών σαρώσεως, χρησιμοποιούνται αντλίες σαρώσεως ανεξάρτητες από τη μηχανή, οι οποίες παίρνουν κίνηση από ηλεκτροκινητήρα. Επίσης, χρησιμοποιείται συνδυασμός των διαφορετικών διατάξεων, όπως θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

3.3 Υπερπλήρωση.

3.3.1 Γενικά.

Υπερπλήρωση (supercharging) καλείται η πλήρωση του κυλίνδρου με μεγαλύτερη μάζα αέρα από αυτή που θα λάμβανε με ατμοσφαιρική πίεση στην είσοδο. Η μεγαλύτερη μάζα του αέρα επιτρέπει την καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου και συνεπώς την αύξηση της ισχύος της μηχανής. Επειδή ο όγκος του κάθε κυλίνδρου είναι δεδομένος, μεγαλύτερη μάζα αέρα εντός του κυλίνδρου εισέρχεται όταν η πυκνότητα του αέρα είναι μεγαλύτερη. Η αύξηση της πυκνότητας πραγματοποιείται με την αύξηση της πιέσεως του εισερχόμενου αέρα από κατάλληλο συμπιεστή. Η υπερπλήρωση εφαρμόζεται τόσο σε τετράχρονες, όσο και σε δίχρονες μηχανές, σε αντίθεση με τη σάρωση με αντλία σαρώσεως, η οποία αναφέρεται μόνο σε δίχρονες μηχανές.

Με την εφαρμογή της υπερπληρώσεως επιτυγχάνεται η αύξηση της ισχύος για συγκεκριμένο όγκο μηχανής, γιατί είναι δυνατή η καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου. Ως αποτέλεσμα, για δεδομένη ισχύ γίνεται δυνατή η κατασκευή μηχανών με σημαντικά μικρότερο όγκο και βάρος. Επίσης μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου της μηχανής ανά παραγόμενο ίππο σε όλα τα φορτία της μηχανής.

Για δεδομένη ισχύ, η μηχανή χωρίς υπερπληρωτή είναι πολύ μεγαλύτερη σε όγκο και βάρος της αντίστοιχης με υπερπληρωτή. Παρά το υψηλό κόστος του υπερπληρωτή, το τελικό κόστος κτήσεως της μηχανής μειώνεται σημαντικά. Παράλληλα μειώνεται και το κόστος χρήσεως, επειδή βελτιώνεται η αξιοπιστία με τη μείωση του μεγέθους της μηχανής, ενώ αυξάνεται και ο βαθμός αποδόσεως. Η μείωση του μεγέθους της μηχανής είναι ουσιαστική απαίτηση για τους ναυτικούς κινητήρες, επειδή οδηγεί στην αύξηση του ωφέλιμου χώρου του πλοίου.

Η εκτεταμένη χρήση της υπερπληρώσεως ξεκίνησε από τους αεροπορικούς κινητήρες, για να είναι ικανοί να διατηρούν την ισχύ τους σε μεγάλα ύψη, όπου επικρατεί αραιή ατμόσφαιρα (μειωμένη πυκνότητα αέρα). Στους δε ναυτικούς κινητήρες εφαρμόστηκε αρχικά στους τετράχρονους τη δεκαετία του 1920, για να αντιμετωπισθεί η μειωμένη μάζα αέρα που εισέρχεται στους κυλίνδρους σε αυξημένες στροφές. Μέχρι το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η εφαρμογή της υπερπληρώσεως περιορίστηκε μόνο σε τετράχρονες μηχανές, λόγω της χαμηλής αποδόσεως των στροβιλοϋπερπληρωτών της εποχής και των χαμηλών θερμοκρασιών εξόδου των καυσαερίων στις δίχρονες μηχανές (και λόγω του ήδη πολύπλοκου συστήματος σαρώσεως). Σήμερα, η εφαρμογή της υπερπληρώσεως είναι καθολική σε όλες τις μηχανές υψηλών επιδόσεων, ναυτικές και μη. Αποτέλεσμα της υπερπληρώσεως είναι η κατασκευή μηχανών μεγάλης ισχύος με μικρό όγκο και βάρος.

Το επίπεδο της επιτυγχανόμενης υπερπληρώσεως περιγράφεται με το ***βαθμό υπερπληρώσεως***. Ως βαθμός υπερπληρώσεως ορίζεται ο λόγος της μέσης πιέσεως με υπερπλήρωση προς τη μέση πίεση χωρίς υπερπλήρωση. Ο βαθμός αυτός δείχνει το ποσοστό αυξήσεως της ισχύος στη μηχανή με την εφαρμογή της υπερπληρώσεως. Αναλυτική περιγραφή θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

3.3.2 Ο στροβιλοϋπερπληρωτής.

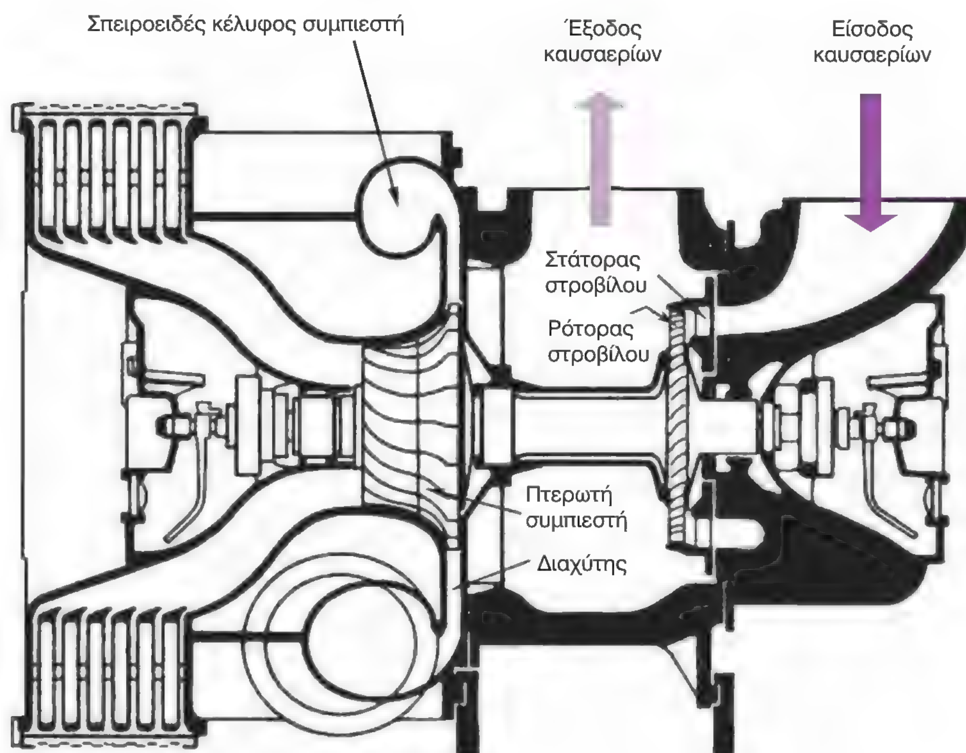
Για να επιτευχθεί αποδοτική υπερπλήρωση, απαιτείται η χρησιμοποίηση αντλίας αέρα (συμπιεστή), που θα απορροφά τη λιγότερη δυνατή ισχύ από την παραγόμενη ισχύ του κινητήρα, θα έχει μικρό όγκο και βάρος και θα επιτυγχάνει υψηλή συμπίεση του εισερχόμενου αέρα. Τις ανάγκες αυτές καταφέρνει να ικανοποιήσει με τον καλύτερο τρόπο ο ***στροβιλοϋπερπληρωτής*** (***στροβιλοσυμπιεστής*** ή

στροβιλοπληρωτής - turbocharger), ο οποίος έχει επικρατήσει σχεδόν ολοκληρωτικά. Η λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή στηρίζεται στη συμπίεση του αέρα με τη χρήση περιστροφικού ***συμπιεστή*** με πτερύγια (φυγοκεντρικού συμπιεστή). Η αναγκαία ισχύς για την περιστροφή του συμπιεστή παρέχεται από την περιστροφή ενός ***στροβίλου*** που κινείται από τα εξερχόμενα καυσαέρια. Τα καυσαέρια κατά την έξοδό τους από τον κύλινδρο διαθέτουν ακόμη υψηλή πίεση και θερμοκρασία, δηλαδή υψηλή ενέργεια. Η ενέργεια αυτή αποτελεί περίπου το 35% της ενέργειας που ελευθερώνεται με την καύση του καυσίμου. Μέρος αυτής της ενέργειας (***η οποία διαφορετικά θα χανόταν***) απορροφά ο στρόβιλος του στροβιλοϋπερπληρωτή, αποδίδοντάς την στο συμπιεστή για να συμπιεστεί ο εισερχόμενος αέρας και να αυξηθεί η εισερχόμενη μάζα του στον κύλινδρο.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα επιμέρους στοιχεία, που συνθέτουν το στροβιλοσυμπιεστή (σχ. 3.3α).

α) Ο συμπιεστής.

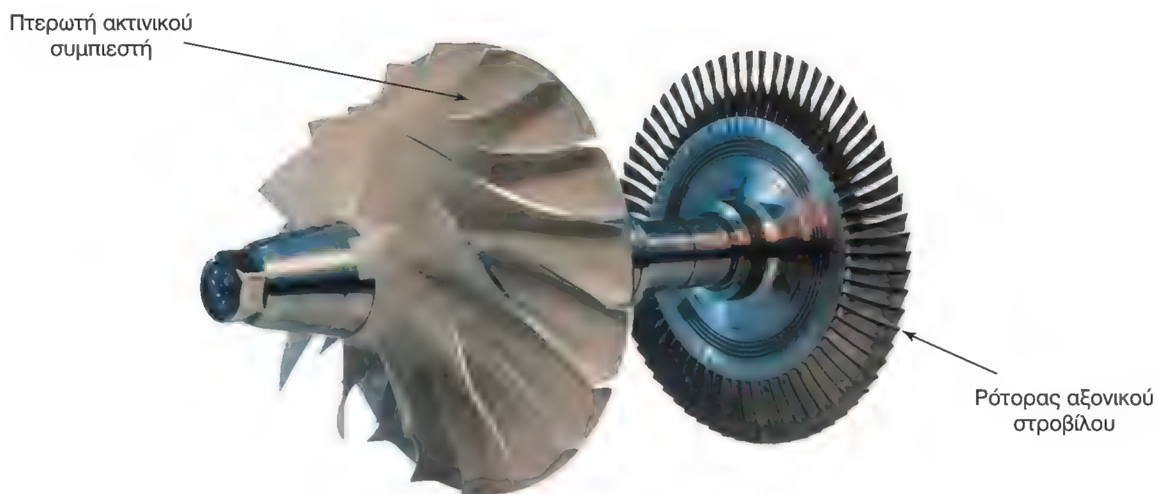
Η υπερπλήρωση του κυλίνδρου απαιτεί την παροχή μεγάλης ποσότητας αέρα, με μέτρια σχετικά πίεση και λειτουργία σε μεγάλο φάσμα παροχών, έτσι ώστε να καλύπτονται οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Η παροχή συμπιεσμένου αέρα στον κύλινδρο μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τύπους συμπιεστών. Η ανάγκη όμως ενός συμπιεστή μικρού όγκου αποκλείει τη χρήση παλινδρομικών συμπιεστών, γιατί (για τις συγκεκριμένες προδιαγραφές) θα είχαν μέγεθος μεγαλύτερο της ίδιας της μηχανής. Οι συμπιεστές που καλύπτουν με τον καλύτερο τρόπο τις απαιτήσεις υπερπληρώσεως (και γι' αυτό είναι οι μόνοι που χρησιμοποιούνται) είναι οι ***περιστροφικοί συμπιεστές ακτινικής ροής*** (***φυγοκεντρικοί***). Οι κυριότεροι λόγοι της αποκλειστικής χρήσεώς τους είναι η απλότητά τους, η στιβαρότητα της κατασκευής τους, ο μεγάλος λόγος πιέσεως που δίνουν με μία βαθμίδα συμπιέσεως (συνήθης τιμή λόγου πιέσεως 4:1)



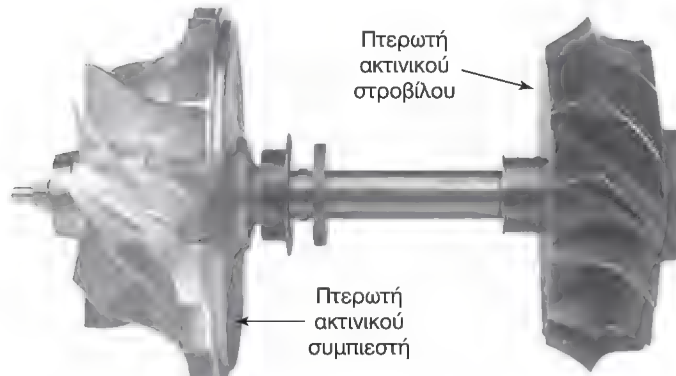
Σχ. 3.3α.
Στροβιλοσυμπιεστής με στρόβιλο αξονικής ροής σε τομή.

και το μικρό σχετικά μέγεθός τους (άρα και το μικρό βάρος που αναλογεί σε κάθε παραγόμενο ίππο). Επίσης, εμφανίζουν μικρή ευαισθησία στην εισρόφηση ξένων αντικειμένων και στις επικαθήσεις ακαθαρσιών πάνω στα πτερύγιά τους. Η ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή είναι συνήθως αρκετά υψηλή (μερικές χιλιάδες στροφές το λεπτό), έτσι ώστε με μικρό μέγεθος συμπιεστή να προκύπτουν μεγάλες παροχές αέρα. Η κατασκευή τους σε μικρά μεγέθη γίνεται συνήθως με χύτευση, ενώ τα μεγάλα μεγέθη συνήθως κατασκευάζονται σε εργαλειομηχανές κοπής που ελέγχονται από υπολογιστή. Η πτερωτή του συμπιεστή κατασκευάζεται συνήθως από κράματα αλουμινίου.

Ο ακτινικός ή φυγοκεντρικός συμπιεστής καλείται έτσι, γιατί ο αέρας (εκτός από τη δεδομένη περιστροφική κίνηση που πραγματοποιεί), κινείται στο εσωτερικό του κυρίως ακτινικά, με την αξονική συνιστώσα της ταχύτητας να είναι συνήθως μικρή. Αποτελείται συνήθως από μία ή δύο ***βαθμίδες***. Κάθε βαθμίδα περιλαμβάνει μία περιστρεφόμενη ***πτερωτή*** (impeller) (σχ. 3.3β και 3.3γ), που προσδίδει συστροφή στον αέρα (αυξάνοντας τόσο την κινητική του ενέργεια όσο και την πίεση). Διαθέτει επίσης ένα ***διαχύτη*** (diffuser), στο εσωτερικό του οποίου ο αέρας επιβραδύνεται, προκαλώντας έτσι μεγαλύτερη αύξηση της πιέσεως. Ο διαχύτης μπορεί να διαθέτει (σταθερά) πτερύγια, μπορεί να είναι όμως κατασκευασμένος χωρίς πτερύγια, με δύο



Σχ. 3.3β.
Πτερωτή ακτινικού συμπιεστή (σε πρώτο πλάνο) συνδεδεμένη σε κοινή άτρακτο με ρότορα αξονικού στροβίλου.



Σχ. 3.3γ.
Πτερωτή ακτινικού συμπιεστή (αριστερά) και πτερωτή ακτινικού στροβίλου (δεξιά) σε κοινή άτρακτο στροβιλοϋπερπληρωτή.

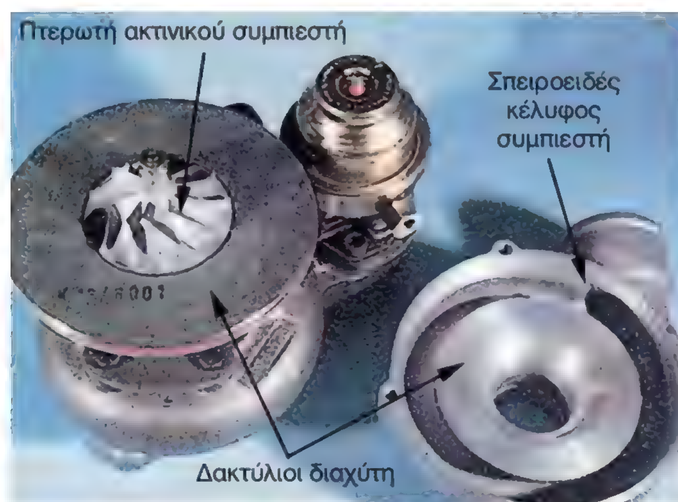
απλά παράλληλα τοιχώματα (σχ. 3.3δ). Μετά το διαχύτη ο αέρας οδηγείται στο ***σπειροειδές κέλυφος*** (σαλίγκαρος) του συμπιεστή, όπου επιβραδύνεται επιπλέον, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της πιέσεως. Το σπειροειδές κέλυφος είναι αγωγός κυκλικής διατομής με συνεχώς αυξανόμενη διατομή. Ο αγωγός αυτός περιβάλλει το διαχύτη με τη μορφή σπείρας και συλλέγει τον αέρα από το διαχύτη σε όλες τις περιφερειακές του θέσεις, οδηγώντας τον στον αγωγό εξόδου.

Ο αέρας που εξέρχεται από την πρώτη βαθμίδα με ορισμένη πίεση, στη συνέχεια εισέρχεται στην επόμενη, με αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της πιέσεώς του (στην περίπτωση συμπιεστή δύο βαθμίδων για υψηλή υπερπλήρωση). Οι σύγχρονοι ακτινικοί συμπιεστές είναι συνήθως μίας βαθμίδας, αφού ο λόγος πιέσεως που μπορούν να επιτύχουν, υπερκαλύπτει τις ανάγκες υπερπληρώσεως. Πριν την είσοδο του συμπιεστή τοποθετείται δικτυωτό μεταλλικό περίβλημα και προστατευτικό φίλτρο για να αποφευχθεί η εισχώρηση ξένων αντικειμένων και αιωρουμένων σωματιδίων στο συμπιεστή. Στην περίπτωση που δεν τηρούνται οι καθορισμένοι χρόνοι καθαρισμού των φίλτρων, αυξάνεται η αντίσταση στη ροή του αέρα, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή και κατ' επέκταση και της κύριας μηχανής. Μετά το προστατευτικό φίλτρο, στους μεγάλους στροβιλοϋπερπληρωτές υπάρχει ειδική διάταξη διαφραγμάτων (αποσιωπητήρας) για να μειώνεται ο θόρυβος που προκαλεί η λειτουργία του συμπιεστή (σχ. 3.3στ).

β) Ο στρόβιλος.

Η κίνηση του συμπιεστή μπορεί θεωρητικά, να γίνει με απορρόφηση ισχύος από τη μηχανή. Η διάταξη αυτή θα ήταν πολύπλοκη, λόγω του μεγάλου αριθμού στροφών του συμπιεστή, ενώ θα οδηγούσε σε μείωση του βαθμού αποδόσεως της μηχανής, επειδή θα αφαιρούταν μέρος του παραγόμενου έργου. ***Έτσι για την κίνηση του συμπιεστή χρησιμοποιείται η εναπομένουσα ενέργεια των καυσαερίων, η οποία διαφορετικά θα χανόταν στο περιβάλλον***. Μέρος της ενέργειας αυτής απορροφάται από το στρόβιλο και επιστρέφει στη μηχανή μέσω της κινήσεως του συμπιεστή. Αυξάνει έτσι, το βαθμό αποδόσεως της μηχανής (αφού μειώνεται η ενέργεια που αποβάλλεται). Τα καυσαέρια, αφού εξέλθουν από τον κύλινδρο, οδηγούνται μέσω κατάλληλου συστήματος αγωγών σε ένα στρόβιλο, τον οποίο περιστρέφουν. Ο στρόβιλος συνδέεται ομοαξονικά με το συμπιεστή.

Ο στρόβιλος μπορεί να είναι ***ακτινικής*** ροής ή ***αξονικής*** ροής (σχ. 3.3β, 3.3γ). Ο στρόβιλος ακτινικής ροής είναι πιο στιβαρός και ευκολότερος στην κατασκευή (με χύτευση). Έχει όμως μεγάλο βάρος, ενώ είναι δύσκολο να χυτευθεί σε μεγάλα μεγέθη. Έτσι, η χρήση του συνήθως περιορίζεται σε μικρούς στροβιλοσυμπιεστές (παροχές αέρα 0,1 έως 2 kg/s) για μικρούς πολύστροφους κινητήρες που χρησιμοποιούν ελαφρύ καύσιμο. Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι ουσιώδες, γιατί οι ακτινικοί στρόβιλοι είναι δύσκολο να καθαριστούν εν λει-



Σχ. 3.3δ.
Στροβιλοϋπερπληρωτής (αριστερά), από τον όποιο έχει αφαιρεθεί το κέλυφος του ακτινικού συμπιεστή (δεξιά). Οι δύο αντικρυστοί επίπεδοι δακτύλιοι απαρτίζουν τον διαχύτη. Διακρίνεται καθαρά δεξιά το σπειροειδές κέλυφος του συμπιεστή.

τουργία με ψεκασμό νερού για την αφαίρεση της κάπνας από τα πτερύγια, η οποία δημιουργείται κατά την καύση βαρέων καυσίμων.

Οι στρόβιλοι αξονικής ροής χρησιμοποιούνται σε μεγάλα μεγέθη στροβιλοσυμπιεστών (παροχές αέρα από 2 έως 15 kg/s), γιατί οι απώλειες πιέσεως αυξάνονται σημαντικά, με τη μείωση του μεγέθους τους. Σε μεγάλα μεγέθη αντίθετα παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση από τους στροβίλους ακτινικής ροής. ***Στις περισσότερες εφαρμογές μεσοστρόφων και αργοστρόφων πετρελαιομηχανών χρησιμοποιούνται αξονικοί στρόβιλοι.***

Στην περίπτωση του στροβίλου ακτινικής ροής, τα καυσαέρια οδηγούνται στην κινητή πτερωτή του στροβίλου μέσω ενός σπειροειδούς κελύφους, το οποίο δίνει συστροφή στη ροή. Πριν την πτερωτή (ρότορας) μπορεί να παρεμβάλλεται μία σταθερή πτερύγωση (στάτορας), η οποία χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει τη γωνία προσπτώσεως της ροής στα κινητά πτερύγια. Με κατάλληλη ρύθμιση της κλίσεως των σταθερών πτερυγίων είναι δυνατή η ρύθμιση της παροχής των καυσαερίων, της ισχύος αλλά και των στροφών περιστροφής του στροβίλου.

Οι στρόβιλοι αξονικής ροής μπορεί να είναι μίας ή (σπανίως) δύο βαθμίδων. Κάθε βαθμίδα αποτελείται από μία σειρά σταθερών πτερυγίων (***στάτορας***) (σχ. 3.3ε) που ακολουθείται από μία σειρά κινητών πτερυγίων (***ρότορας***) (σχ. 3.3β). Εντός του στάτορα η ροή αποκτά συστροφή, την οποία αφαιρεί στη συνέχεια ο ρότορας, απορροφώντας ενέργεια από το ρευστό. Συνεπώς, τα καυσαέρια περνώντας μέσα από το στρόβιλο χάνουν μέρος της ενέργειάς τους και αντίστοιχα μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία τους. Στη συνέχεια οδηγούνται προς την ατμόσφαιρα, ή χρησιμοποιούνται εκ νέου στο λέβητα καυσαερίων (exhaust gas boiler).

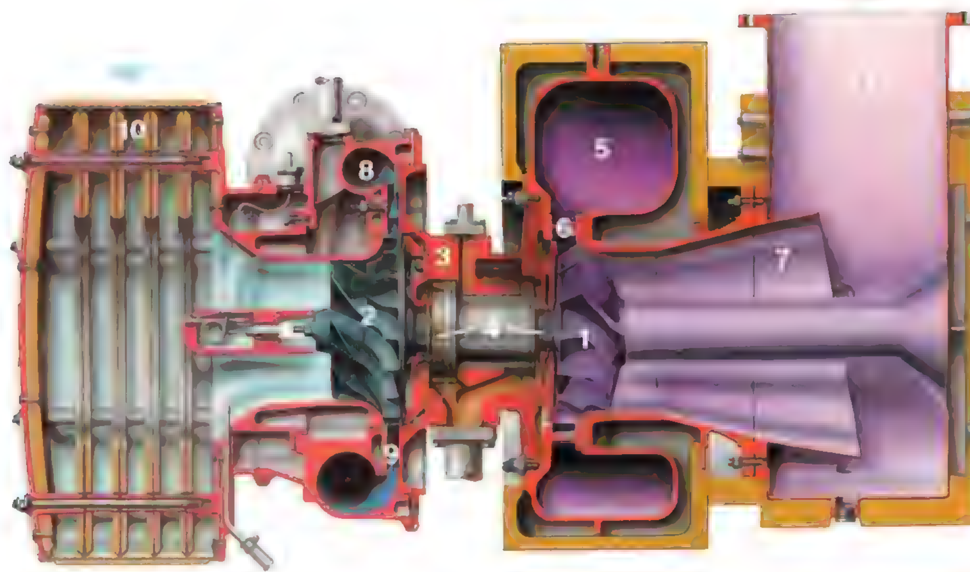
Τα πτερύγια του στροβίλου, επειδή διαβρέχονται από τα καυσαέρια, λειτουργούν σε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες. Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής τους δημιουργεί ισχυρές φυγόκεντρες δυνάμεις, οι οποίες σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία καταπονούν ιδιαίτερα τα πτερύγια. Επιπλέον, στην περίπτωση υπάρξεως συστήματος υπερπληρώσεως παλμών, δημιουργούνται ισχυρές ταλαντώσεις στα πτερύγια. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας και της οριακής φορτίσεως του στροβίλου θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς η μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από την κύρια μηχανή. Τα πτερύγια του στροβίλου κατασκευάζονται από κράματα νικελίου ή νικελιούχο χάλυβα, με μεγάλη αντοχή στη διάβρωση και την υψηλή θερμοκρασία. Στα σχήματα 3.3στ, 3.3ζ, 3.3η, 3.3θ παρουσιάζονται συγκροτήματα στροβιλοϋπερπληρωτών με ακτινικό και αξονικό στρόβιλο καυσαερίων.

γ) Τα έδρανα.

Ο συμπιεστής και ο στρόβιλος συνδέονται στην ίδια άτρακτο, η οποία στηρίζεται σε ζεύγος εδράνων. Τα ***έδρανα*** αυτά μπορεί να βρίσκονται: α) Μεταξύ

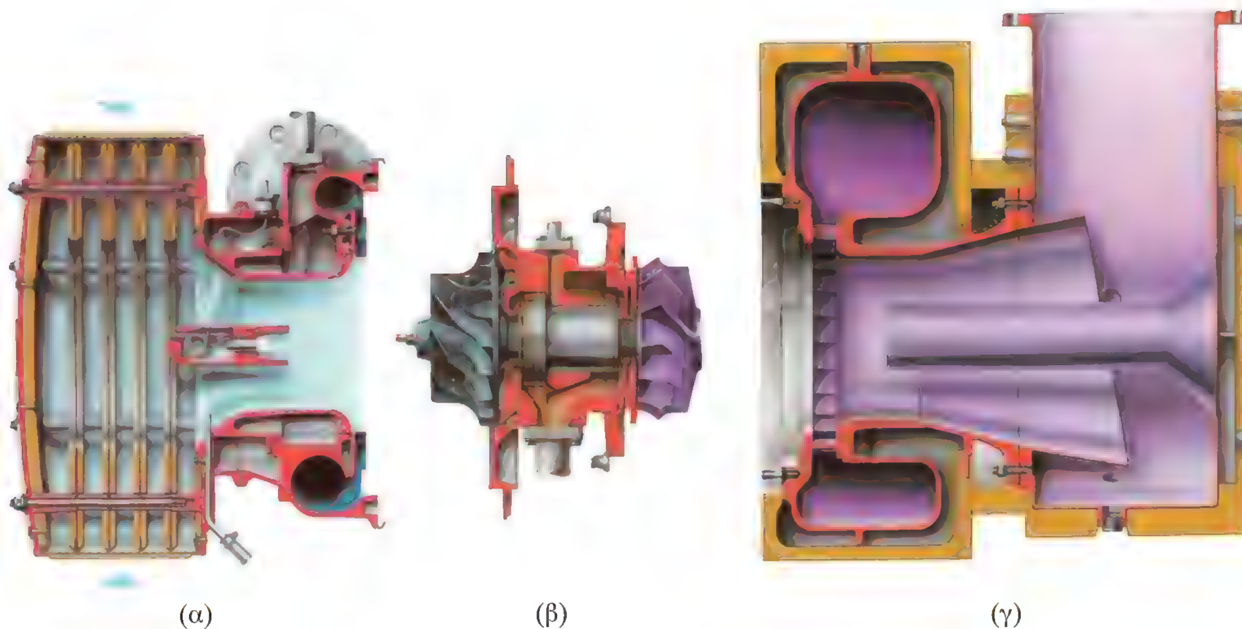


Σχ. 3.3ε.
Πτερύγωση στάτορα αξονικού στροβίλου στροβιλοϋπερπληρωτή πετρελαιομηχανής.



Σχ. 3.3στ.

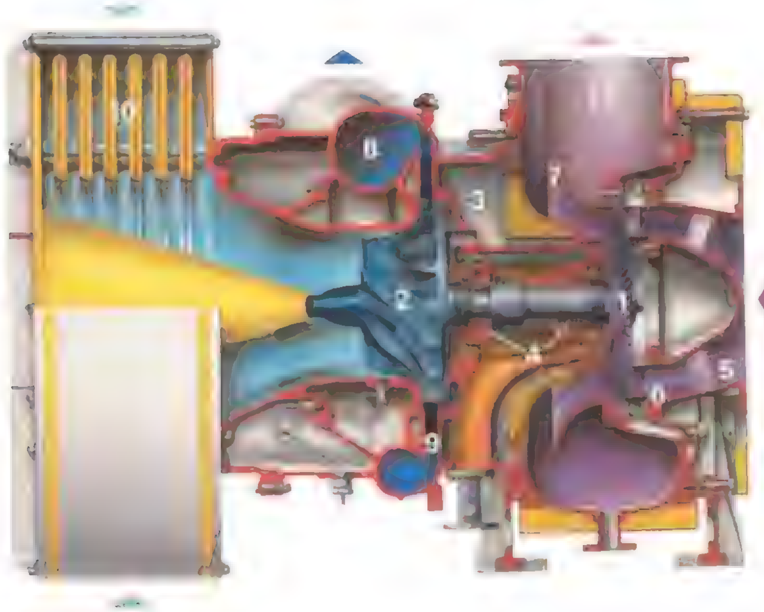
Τομή συγχρόνου στροβιλοϋπερπληρωτή πετρελαιομηχανής με ακτινικό στρόβιλο σε τομή. (1) Πτερωτή στροβίλου, (2) πτερωτή συμπιεστή, (3) κάλυμμα εδράνων, (4) έδρανα ολισθήσεως, (5) σπειροειδές κέλυφος στροβίλου, (6) οδηγά πτερύγια στροβίλου, (7) διαχύτης εξόδου καυσαερίων, (8) σπειροειδές κέλυφος συμπιεστή, (9) διαχύτης συμπιεστή, (10) αποσιωπητήρας, (11) οχετός εξαγωγής καυσαερίων.



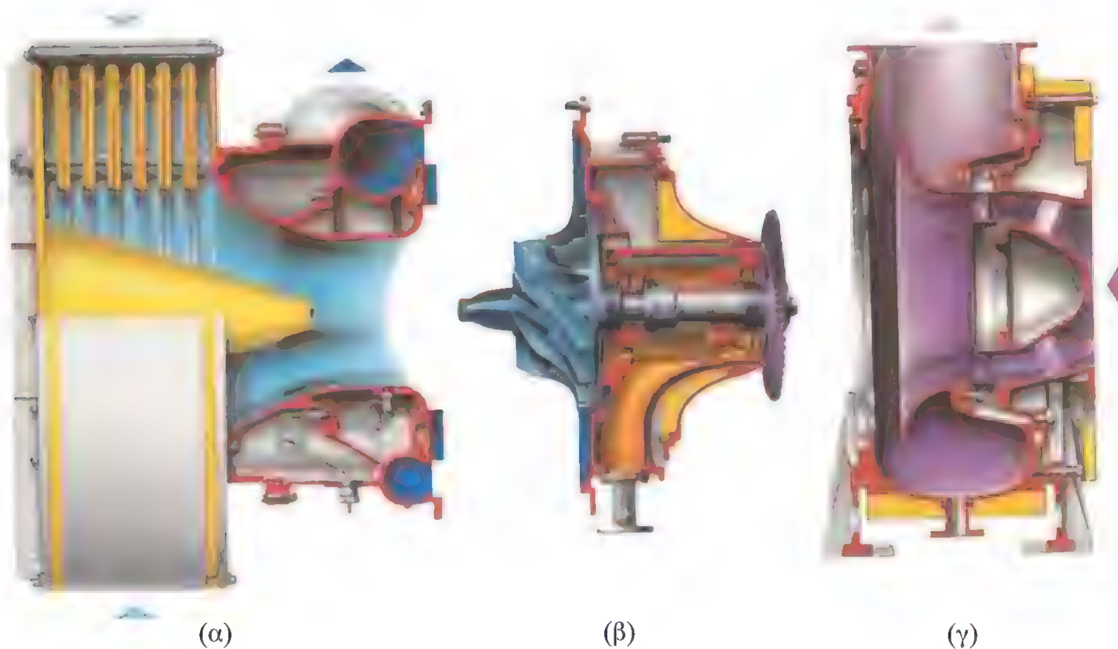
(α) (β) (γ)

Σχ. 3.3ζ.

Ο στροβιλοϋπερπληρωτής του σχήματος 3.3στ χωρισμένος στα κύρια τμήματά του. Στο (α) έχομε το τμήμα εισόδου του αέρα. Στο (β) φαίνονται οι πτερωτές του ακτινικού συμπιεστή και του ακτινικού στροβίλου σε κοινό άξονα και στο (γ) βλέπομε το τμήμα προσαγωγής και εξαγωγής των καυσαερίων.



Σχ. 3.3η.
Στροβιλοϋπερπληρωτής πετρελαιοκινητήρα με αξονικό στρόβιλο σε τομή. (1) Ρότορας στροβίλου. (2) Πτερωτή συμπιεστή. (3) Κάλυμμα εδράνων. (4) Έδρανα. (5) Αγωγός προσαγωγής καυσαερίων. (6) Οδηγά πτερύγια (στάτορας) στροβίλου. (7) Διαχύτης εξόδου καυσαερίων. (8) Σπειροειδές κέλυφος συμπιεστή. (9) Διαχύτης συμπιεστή. (10) Αποσιωπητήρας. (11) Οχετός εξαγωγής καυσαερίων.



Σχ. 3.3θ.
Ο στροβιλοϋπερπληρωτής του σχήματος 3.3η χωρισμένος στα κύρια τμήματά του. Στο (α) έχομε το τμήμα εισόδου του αέρα στο (β) φαίνονται οι πτερωτές του ακτινικού συμπιεστή και του αξονικού στροβίλου σε κοινό άξονα, και στο (γ) βλέπομε το τμήμα προσαγωγής και εξαγωγής των καυσαερίων.

των δύο πτερωτών (εσωτερικά έδρανα), β) εκτός των πτερωτών στα άκρα της ατράκτου (εξωτερικά έδρανα), γ) το ένα να βρίσκεται εξωτερικά, και το άλλο εσωτερικά, ή τέλος δ) να βρίσκονται στην ίδια πλευρά της ατράκτου, εξωτερικά των πτερωτών. Οι δύο πρώτες περιπτώσεις είναι οι συνηθέστερες (σχ. 3.3ι).

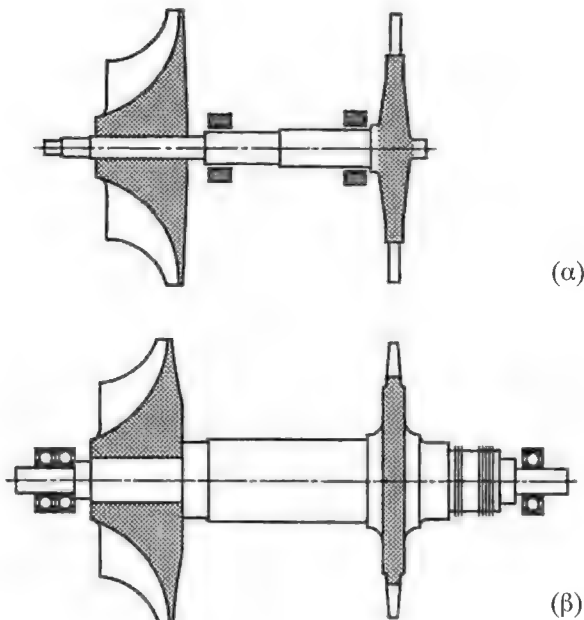
Η δεύτερη περίπτωση προσφέρεται για ευκολότερη ζυγοστάθμιση και για αυτόνομα συστήματα λιπάνσεως, ενώ εξασφαλίζει καλύτερη προσπέλαση στα έδρανα. Λόγω όμως της θέσεως των εδράνων επηρεάζεται η μορφολογία των τμημάτων εισόδου και εξόδου του στροβίλου και του συμπιεστή. Η πρώτη περίπτωση είναι πιο ευαίσθητη στη ζυγοστάθμιση, ενώ τα έδρανα είναι δυσκολότερα προσπελάσιμα.

Τα έδρανα μπορεί να είναι είτε κυλίσεως με σφαιρικά ή κυλινδρικά σώματα κυλίσεως (ρουλεμάν), είτε ολισθήσεως (κουζινέτα). Τα πρώτα έχουν χαμηλότερες τριβές, με αποτέλεσμα να εκκινούν πιο εύκολα. Επιτρέπουν υπερφόρτωση για μικρά διαστήματα και εξακολουθούν να λειτουργούν για περιορισμένο χρονικό διάστημα, ακόμη και όταν υπάρχει πρόβλημα στη λίπανση. Οι λιγότερες απώλειες τριβών που εμφανίζουν, είναι ουσιαστικό πλεονέκτημα στις δίχρονες μηχανές, επειδή είναι ευαίσθητες στο βαθμό αποδόσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή.

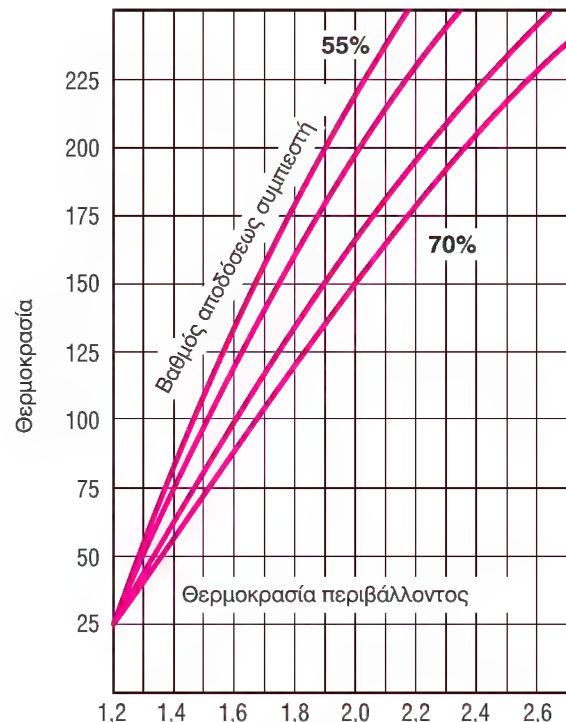
Τα έδρανα ολισθήσεως έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 20.000 ώρες), επηρεάζονται λιγότερο από προβλήματα ζυγοσταθμίσεως, ενώ μπορούν να τροφοδοτηθούν από το σύστημα λιπάνσεως της μηχανής (με παρεμβολή φίλτρου). Η λίπανση των εδράνων γίνεται είτε από ξεχωριστό σύστημα (το οποίο επιτρέπει τη χρήση ειδικών ελαίων μικρότερου ιξώδους, με αποτέλεσμα τη μείωση των τριβών) είτε από το ίδιο σύστημα λιπάνσεως της μηχανής (αρκετά σύνηθες σε σύγχρονες μεσόστροφες ναυτικές μηχανές). Συνήθως, στις ναυτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται έδρανα ολισθήσεως.

δ) Ο εναλλάκτης θερμότητας.

Κατά τη συμπίεση του αέρα στο συμπιεστή αυξάνεται η θερμοκρασία του (σχ. 3.3ια). Αυτό έχει



Σχ. 3.3ι.
Τα πιο διαδεδομένα συστήματα στηρίξεως των ατράκτων στροβιλοϋπερπληρωτών: Στο (α) τα έδρανα (ολισθήσεως) βρίσκονται στο εσωτερικό των πτερωτών, ενώ στο (β) τα έδρανα (κυλίσεως) είναι τοποθετημένα στο εξωτερικό των πτερωτών.



Σχ. 3.3ια.
Αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα σε σχέση με την πίεση συμπιέσεως (για διάφορους βαθμούς αποδόσεως του συμπιεστή).

ως αποτέλεσμα τη διαστολή του αέρα και συνεπώς τη μειωμένη αύξηση της πυκνότητάς του. ΄Ετσι, στο δεδομένο όγκο του κυλίνδρου εισέρχεται μικρότερη μάζα αέρα, απ' όση θα εισερχόταν εάν η θερμοκρασία του ήταν χαμηλότερη. Κατ' αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η ισχύς της μηχανής (λόγω της δυνατότητας καύσεως μικρότερης ποσότητας καυσίμου). Ο θερμότερος αέρας έχει επίσης σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη θερμική καταπόνηση της μηχανής. Για τους λόγους αυτούς, μετά την έξοδο από το συμπιεστή, ο αέρας οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας (ψυγείο) για να μειωθεί η θερμοκρασία του. Η παρουσία τριβών εντός του ψυγείου περιορίζει κάπως την τελική αύξηση της πυκνότητας.

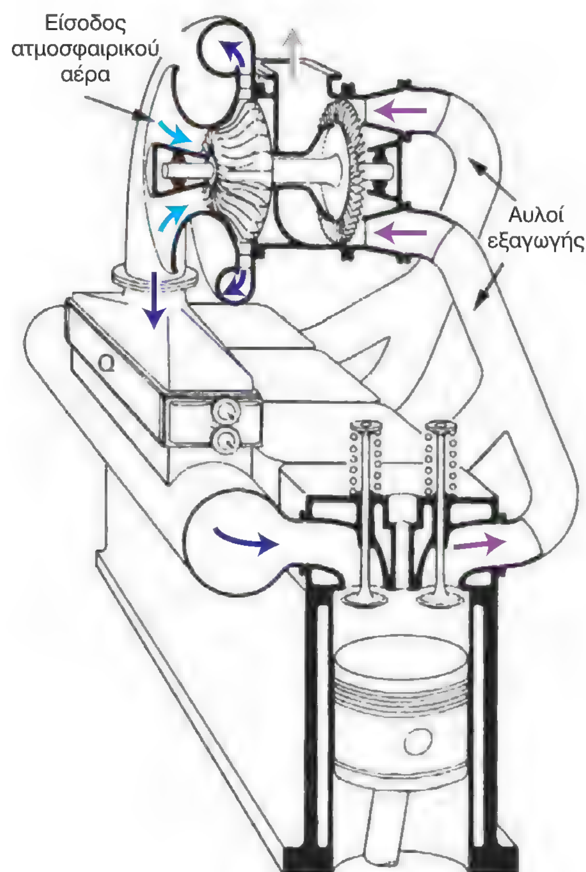
Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι δύο τύπων, εναλλάκτης αέρα-νερού, που χρησιμοποιείται στις μηχανές μεγάλης ισχύος και εναλλάκτης αέρα-αέρα (intercooler), που η χρήση του περιορίζεται στις πολύστροφες μηχανές μικρής ισχύος.

3.3.3 Υπερπλήρωση τετραχρόνων μηχανών.

Η υπερπλήρωση με χρήση στροβιλοϋπερπληρωτή συνδέεται με το όνομα του Ελβετού μηχανικού ***Alfred Buchi***, ο οποίος το 1905 κατέθεσε ευρεσιτεχνία για τη σύνδεση ενός τετράχρονου κινητήρα Diesel με έναν πολυβάθμιο αξονικό συμπιεστή και έναν πολυβάθμιο αξονικό στρόβιλο σε κοινό άξονα. Σε επόμενη ευρεσιτεχνία του το 1915 εγκατέλειψε την κοινή σύνδεση κινητήρα-στροβίλου-συμπιεστή, διατηρώντας τη σύνδεση στροβίλου-συμπιεστή. Η πρώτη εφαρμογή της ιδέας έγινε το 1925 στα επιβατηγά / οχηματαγωγά πλοία Preussen και Hansastadt Danzig. Τα πλοία είχαν εφοδιαστεί με δεκακύλινδρους τετράχρονους κινητήρες MAN, οι οποίοι διέθεταν στροβιλοσυμπιεστή κατασκευής Vulkan-Brown Boveri και είχαν ισχύ 1259-1840 kW.

Λόγω των χαμηλών αποδόσεων των πτερυγώσεων της εποχής, οι στροβιλοσυμπιεστές δεν έδιναν την αναγκαία διαφορά πιέσεως μεταξύ της εισαγωγής και της εξαγωγής του κυλίνδρου για την ικανοποιητική σάρωσή του. Το πρόβλημα ξεπεράστηκε πάλι από τον Buchi το 1925 με την κατάθεση νέας ευρεσιτεχνίας. Αντί για μεγάλο συλλέκτη καυσαερίων πριν την είσοδο στο στρόβιλο, χρησιμοποίησε σε κάθε κύλινδρο στενούς αυλούς εξαγωγής, για να εκμεταλλευτεί την αρχική ενέργεια των παλμών από την εκτόνωση των καυσαερίων. Οι κύλινδροι συνδέονταν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει αλληλεπίδραση των παλμών, ενώ συνυπολογίζεται ο χρονισμός των κυλίνδρων. Το σύστημα εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε τετράχρονο τετρακύλινδρο κινητήρα 750 HP, ενώ η πρώτη εφαρμογή του σε ναυτικό τετράχρονο κινητήρα έγινε το 1928 στο βρετανικό πλοίο Raby Castle.

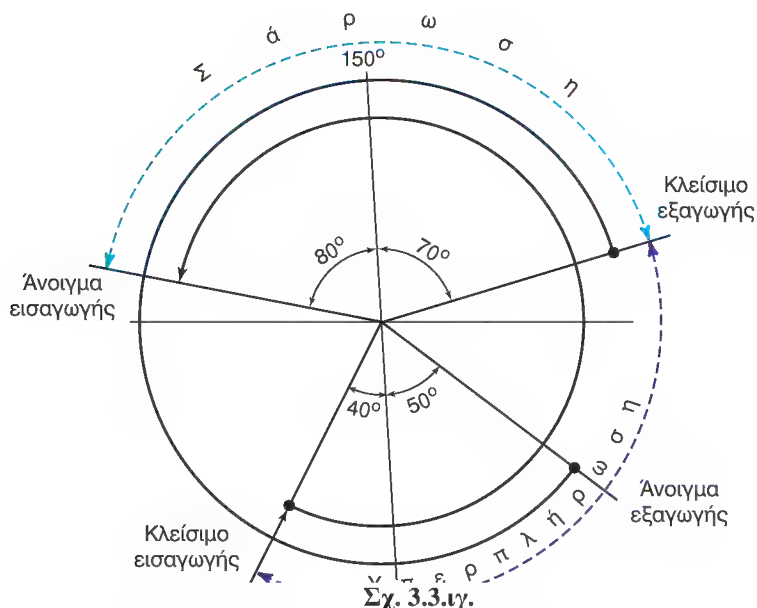
Στο ***σύστημα Buchi*** ή ***σύστημα παλμών***, τα καυσαέρια μεταφέρονται προς το στρόβιλο του στροβιλοσυμπιεστή από δύο ή τέσσερεις ξεχωριστούς οχετούς (σχ. 3.3ιβ). Σε κάθε στροβιλοσυμπιεστή καταλήγουν αγωγοί εξαγωγής από διαφορετικούς κυλίνδρους, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής ροή των καυσαερίων και ίδια ποσότητα, για να προκύπτει ίδιο μέγεθος στροβιλοσυμπιεστών. Περισσότερες λεπτομέρειες για το σύστημα αυτό θα αναπτυχθούν σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχ. 3.3ιβ.
Σχηματική παρουσίαση συστήματος παλμών, εφαρμοσμένου σε τετράχρονη πετρελαιομηχανή. Διακρίνονται οι στενοί αυλοί εξαγωγής, που καταλήγουν στον αξονικό στρόβιλο του υπερπληρωτή. Η κινούμενη από το στρόβιλο πτερωτή του συμπιεστή οδηγεί με υψηλή πίεση τον αέρα στις ανοικτές βαλβίδες εισαγωγής.

Στο σχήμα 3.3ιγ παρουσιάζεται σπειροειδές διάγραμμα υπερπληρώσεως τετράχρονης μηχανής με σύστημα Buchi. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ταυτόχρονα ανοικτές για μεγάλο χρονικό διάστημα, που αντιστοιχεί σε γωνία περίπου 150°. Οι βαλβίδες εισαγωγής ανοίγουν περί τις 80° πριν το ΑΝΣ, ενώ οι βαλβίδες εξαγωγής κλείνουν 70° μετά το ΑΝΣ. Κατά τη φάση αυτή πραγματοποιείται η σάρωση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Ο μεγάλος χρόνος σαρώσεως (τον οποίο επιτρέπει η ύπαρξη τεσσάρων χρόνων στις αντίστοιχες μηχανές), επιτρέπει την πολύ καλή απόπλυση του κυλίνδρου και την ικανοποιητική ψύξη του κυλίνδρου, του εμβόλου και των βαλβίδων, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμικής τους καταπονήσεως. Η απόπλυση βελτιώνεται με τη χρήση πολυβάλβιδων κυλινδροκεφαλών (πωμάτων). Με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής, συνεχίζεται η είσοδος αέρα υπό πίεση, οπότε πραγματοποιείται η φάση της υπερπληρώσεως, που διαρκεί περίπου 130° - 160°. Στις τετράχρονες μηχανές η φάση της σαρώσεως και η φάση της υπερπληρώσεως είναι ***καθαρά διακριτές***.

Με την εφαρμογή της υπερπληρώσεως αυξήθηκε η ισχύς των τετραχρόνων μηχανών μέχρι 3 φορές, σε σχέση με τις αντίστοιχες μη υπερπληρούμενες, ιδίων διαστάσεων. Με τη χρήση συμπιέσεως δύο βαθμίδων (υψηλή υπερπλήρωση) μπορεί να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της ισχύος, φυσικά μέχρι των ορίων μηχανικής και θερμικής αντοχής των υλικών κατασκευής της μηχανής. Οι μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές λειτουργούν συνήθως σε υψηλότερους βαθμούς υπερπληρώσεως σε σχέση με τις δίχρονες.



Σχ. 3.3.ιγ.
Σπειροειδές διάγραμμα σαρώσεως-υπερπληρώσεως τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα.

3.3.4 Υπερπλήρωση διχρόνων μηχανών.

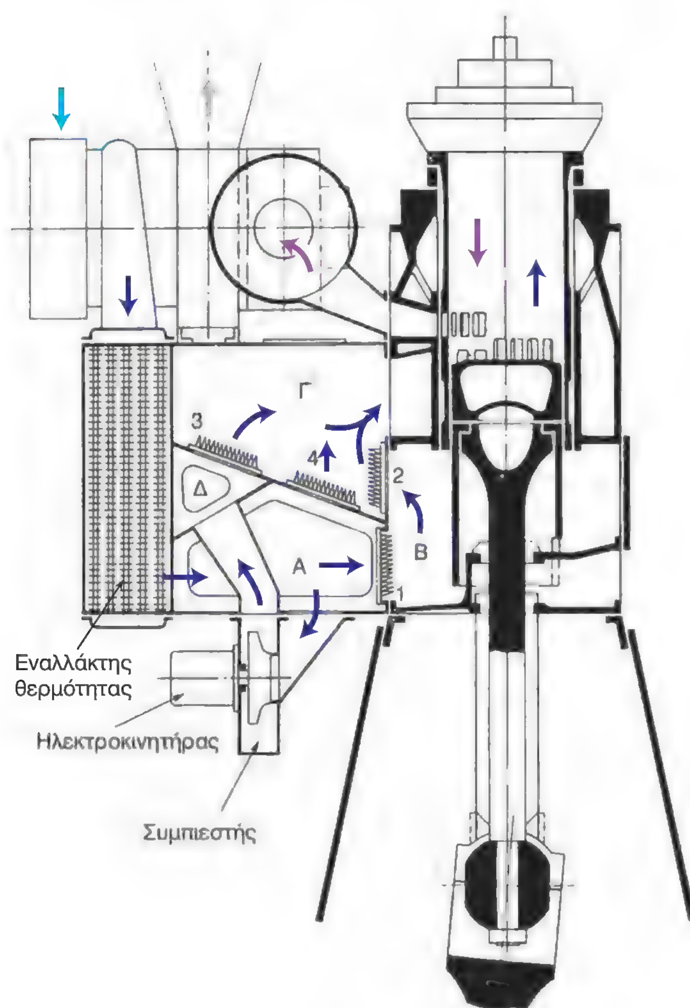
Οι τετράχρονοι κινητήρες είναι αυτοπληρούμενοι και μπορούν να λειτουργήσουν με πίεση εξαγωγής μεγαλύτερη της πιέσεως εισαγωγής (στην περίπτωση μη υπερπληρώσεως). Αντίθετα, οι δίχρονοι κινητήρες απαιτούν πάντα μεγαλύτερη πίεση εισαγωγής από την πίεση εξαγωγής, έτσι ώστε να πραγματοποιείται η σάρωση. Στην περίπτωση των διχρόνων μηχανών, ο στροβιλοϋπερπληρωτής πρέπει να έχει μεγάλη απόδοση, για να διατηρεί συνεχώς την πίεση εισόδου στον κύλινδρο μεγαλύτερη της πιέσεως των καυσαερίων στην έξοδο. Πρέπει ωστόσο να παρέχει και ικανή ποσότητα αέρα, για να πραγματοποιείται η σάρωση. Εδώ πρέπει να σημειωθεί η πτώση στην απόδοση του στροβιλοϋπερπληρωτή κατά τη λειτουργία του, λόγω των επικαθήσεων στα πτερύγια (λεπτομερής ανάλυση θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο). Στους δίχρονους κινητήρες (ιδιαίτερα με θυρίδες εξαγωγής), λόγω της μερικής αναμείξεως του ψυχρού αέρα με τα καυσαέρια κατά τη σάρωση, μειώνεται η θερμοκρασία τους, οπότε μειώνεται και η διαθέσιμη ενέργεια των καυσαερίων για κίνηση του στροβίλου (άρα και του συμπιεστή).

Οι αρχικοί στροβιλοσυμπιεστές παρουσίαζαν μικρή απόδοση και συνεπώς, (με βάση τα παραπάνω) δεν μπορούσαν να συνδυαστούν με δίχρονες μηχανές. Έτσι, καθυστέρησε η εφαρμογή της υπερπληρώσεως στις δίχρονες μηχανές μέχρι το 1950. Οι πρώτες υπερπληρούμενες δίχρονες μηχανές διέθεταν επιπρόσθετα και συνεχή μηχανική βοηθητική υπερπλήρωση.

Οι σύγχρονοι μεγάλοι στροβιλοϋπερπληρωτές παρουσιάζουν πολύ υψηλή απόδοση και μπορούν να υπερκεράσουν την πτώση της αποδόσεώς τους λόγω επικαθήσεων. Μικρότεροι όμως κινητήρες που εμφανίζουν αυξημένες αντιστάσεις στο σύστημα σαρώσεως, και λειτουργούν με μικρότερους υπερπληρωτές (μικρότερης αποδόσεως), μπορεί να παρουσιάζουν προβλήματα στην υπερπλήρωση.

Στα χαμηλότερα φορτία μειώνεται η θερμοκρασία, όπως και η παροχή των καυσαερίων, άρα και η διαθέσιμη ενέργεια για την περιστροφή του στροβίλου. Επίσης ο στρόβιλος και ο συμπιεστής λειτουρ-

γούν εκτός σημείου σχεδιάσεως, με μικρότερη δηλαδή απόδοση. Έτσι, στις περιπτώσεις μερικών φορτίων (χαμηλές στροφές κινητήρα) ο στροβιλοϋπερπληρωτής δεν επαρκεί για τη σάρωση και την υπερπλήρωση του κινητήρα, οπότε χρησιμοποιείται κατ' ανάγκη ενίσχυση από ***ηλεκτροκινούμενο φυσητήρα*** (auxiliary blower). Η πρόσθετη χρήση του κάτω τμήματος του εμβόλου ως παλινδρομικής αντλίας σαρώσεως εν σειρά με τις υπόλοιπες διατάξεις υπερπληρώσεως υποβοηθά την αντιμετώπιση του προβλήματος στις χαμηλές στροφές (σχ. 3.3ιδ).



Σχ. 3.3ιδ.
Διάταξη υπερπληρώσεως και συνδυασμός του στροβιλοϋπερπληρωτή, με το βοηθητικό ηλεκτροκινούμενο φυγοκεντρικό συμπιεστή και το κάτω τμήμα του εμβόλου ως παλινδρομική αντλία. Το τελευταίο χρησιμοποιείται σε χαμηλά φορτία του κινητήρα, ενώ ο ηλεκτροφυσητήρας εκκινεί αυτόματα σε πολύ χαμηλά φορτία, όταν πέφτει υπερβολικά η απόδοση του στροβιλοϋπερπληρωτή. Στην έξοδο του συμπιεστή του στροβιλοϋπερπληρωτή διακρίνεται ο εναλλάκτης θερμότητας.

Στις δίχρονες μηχανές, για τη μείωση των αντιστάσεων ροής κατά τη σάρωση του κυλίνδρου (η οποία γίνεται σε χαμηλή σχετικά πίεση) πρέπει οι θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής να έχουν μεγάλες διατομές και ο αέρας να έχει χαμηλή ταχύτητα και θερμοκρασία (υψηλή πυκνότητα), επιβάλλεται δηλαδή η ψύξη του αέρα μετά το συμπιεστή, μέσα σε εναλλάκτη θερμότητας. Η διαδικασία της σαρώσεως και της υπερπληρώσεως είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις δίχρονες υπερπληρούμενες μηχανές με στροβιλοϋπερπληρωτή χαμηλής αποδόσεως, στη μεταβολή των αντιστάσεων ροής λόγω επικαθήσεων εξανθρακωμάτων στις θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής και στην παρουσία μεγάλων επικαθήσεων στα φίλτρα εισαγωγής (ακάθαρτα φίλτρα).

Η απόδοση των συγχρόνων στροβιλοϋπερπληρωτών είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε να απαιτείται μέρος μόνο της ενέργειας των καυσαερίων για την περιστροφή του συμπιεστή. Η περίσσεια ενέργειας των καυσαερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάταξη παραγωγής ισχύος (με σύνδεση ηλεκτρογεννήτριας στο στροβιλοσυμπιεστή). Ούτως ή άλλως όμως οι ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές διατηρούνται, επειδή βοηθούν την απρόσκοπτη λειτουργία της μηχανής σε χαμηλά φορτία, στην εκκίνηση της μηχανής και στις κινήσεις του πλοίου εν όρμω.

Η αύξηση της αποδόσεως των συγχρόνων στροβιλοϋπερπληρωτών επιτρέπει την εκμετάλλευση της περίσσειας ισχύος των καυσαερίων, για να ρυθμίζεται όσο το δυνατόν αργότερα το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής σε δίχρονους κινητήρες ευθύγραμμης σαρώσεως. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται το έργο του εμβόλου. Η περίσσεια ισχύος των καυσαερίων μπορεί εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί για να αυξηθεί η παροχή αέρα. Αν το καύσιμο διατηρηθεί σταθερό, μειώνεται η θερμική καταπόνηση του κινητήρα. Αν αυξηθεί αντίστοιχα και το καύσιμο, αυξάνεται η ισχύς της μηχανής (εφ' όσον υπάρχουν τα περιθώρια από πλευράς καταπονήσεως και αντοχής).

α) Υπερπλήρωση δίχρονης μηχανής με θυρίδες εξαγωγής.

Στις μηχανές που η έξοδος των καυσαερίων γίνεται μέσω θυρίδων εξαγωγής, η κίνηση του εμβόλου καθορίζει τους χρόνους ενάρξεως και λήξεως της φάσεως εξαγωγής, λόγω της δεδομένης γεωμετρίας των θυρίδων. Έτσι η γωνία στροφάλου που αντιστοιχεί στην έναρξη της εξαγωγής, θα είναι ***αναγκαστικά συμμετρική*** της γωνίας στροφάλου που αντιστοιχεί

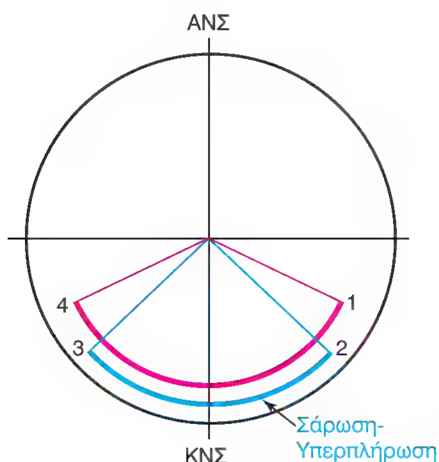
στη λήξη της φάσεως εξαγωγής. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και κατά τη φάση της εισαγωγής του αέρα εντός του κυλίνδρου, αφού αυτή πραγματοποιείται μέσω θυρίδων σταθερής γεωμετρίας.

Οι θυρίδες εξαγωγής ανοίγουν πάντα πριν τις θυρίδες εισαγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται με το μεγαλύτερο ύψος τους σε σχέση με τις θυρίδες εισαγωγής. Με την αποκάλυψη από το έμβολο των θυρίδων εξαγωγής τα καυσαέρια, με ταχύτητα σχεδόν ίση με την ταχύτητα του ήχου, εξέρχονται από τον κύλινδρο, με αποτέλεσμα την πτώση της πιέσεως. Όταν θα ανοίξουν και οι θυρίδες εισαγωγής, η υποπίεση που έχει δημιουργηθεί από την ταχύτατη έξοδο των καυσαερίων, διευκολύνει την είσοδο του συμπιεσμένου αέρα, ενώ παράλληλα αποτρέπεται η ανάμειξη των καυσαερίων με τον αέρα. Κατά το χρονικό διάστημα πριν και μετά το ΚΝΣ που οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ταυτόχρονα ανοικτές, ο υψηλής πιέσεως και χαμηλής θερμοκρασίας αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο, ενώ τα θερμά καυσαέρια ακολουθώντας συγκεκριμένη διαδρομή εξέρχονται του κυλίνδρου. Ενώ το έμβολο έχει ήδη κλείσει τις θυρίδες εισαγωγής και πριν κλείσουν οι θυρίδες εξαγωγής, τα καυσαέρια συνεχίζουν να εξέρχονται για μικρό χρονικό διάστημα, λόγω της υψηλής εσωτερικής πιέσεως και αδράνειάς τους. Το σπειροειδές διάγραμμα του σχήματος 3.3ιε δείχνει τις αντίστοιχες φάσεις, όπου η φάση της υπερπληρώσεως συμπίπτει χρονικά με τη φάση της σαρώσεως.

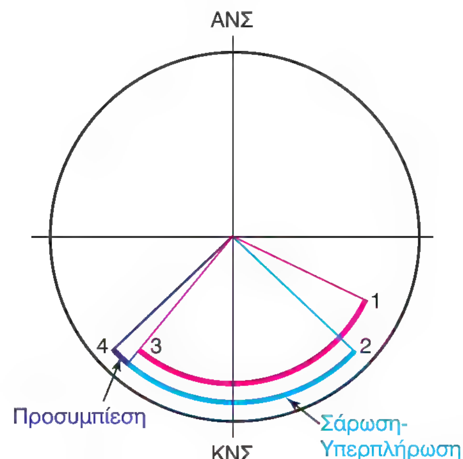
β) Υπερπλήρωση δίχρονης μηχανής με βαλβίδα εξαγωγής.

Στην περίπτωση μηχανής με βαλβίδα εξαγωγής, μόνο η εισαγωγή ελέγχεται από το έμβολο, ενώ η έναρξη και η λήξη της φάσεως εξαγωγής ρυθμίζονται ανεξάρτητα, με βάση το σχήμα και τη μετατόπιση του αντίστοιχου εκκέντρου στον εκκεντροφόρο άξονα.

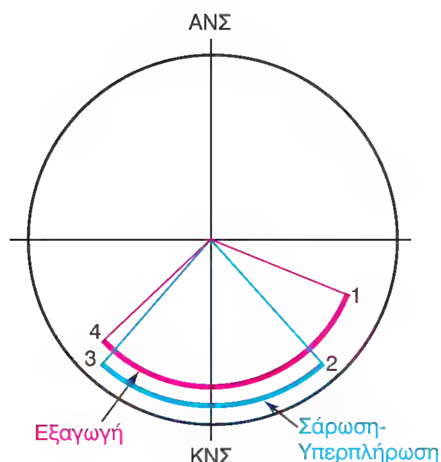
Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η γεωμετρία των θυρίδων εισαγωγής είναι δεδομένη, οπότε οι γωνίες στροφάλου που αντιστοιχούν στο άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής, είναι συμμετρικές και προκαθορισμένες. Αντίθετα, οι γωνίες στροφάλου που αντιστοιχούν στο άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής διαφέρουν, οπότε είναι δυνατόν να κλείσει η βαλβίδα εξαγωγής πριν ή ταυτόχρονα με το κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής (σχ. 3.3ιστ). Έτσι, αποφεύγεται η απώλεια αέρα προς την εξαγωγή, ενώ είναι δυνατή η επίτευξη υψηλότερης υπερπληρώσεως. Συνήθως η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει λίγες μοίρες πριν το κλείσιμο των θυρίδων εξαγωγής, επιτυγχάνοντας έτσι μια προσυμπίεση του αέρα, πριν την έναρξη της κανονικής φάσεως συμπιέσεως, μέχρι να κλείσουν και οι θυρίδες σαρώσεως. Συναντάται όμως και η αντίθετη πρακτική (ειδικά στις μεγάλες ναυτικές μηχανές). Η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει λίγες μοίρες μετά το κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής,



Σχ. 3.3ιε.
Υπερπλήρωση δίχρονης πετρελαιομηχανής με θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής (συμμετρικό διάγραμμα). (1) Άνοιγμα θυρίδων εξαγωγής. (2) Άνοιγμα θυρίδων σαρώσεως. (3) Κλείσιμο θυρίδων σαρώσεως. (4) Κλείσιμο θυρίδων εξαγωγής. Σάρωση-υπερπλήρωση από 2 έως 3. Εξαγωγή από 1 έως 4.



Σχ. 3.3ιστ.
Υπερπλήρωση δίχρονης πετρελαιομηχανής με βαλβίδα εξαγωγής (ασύμμετρο διάγραμμα). (1) Άνοιγμα βαλβίδας εξαγωγής. (2) Άνοιγμα θυρίδων σαρώσεως. (3) Κλείσιμο βαλβίδας εξαγωγής. (4) Κλείσιμο θυρίδων σαρώσεως. Σάρωση - υπερπλήρωση από 2 έως 3. Υπερπλήρωση-προσυμπίεση από 3 έως 4. Εξαγωγή από 1 έως 3.



Σχ. 3.3ιζ.
Υπερπλήρωση δίχρονης πετρελαιομηχανής με βαλβίδα εξαγωγής (καθυστέρηση κλεισίματος). (1) Άνοιγμα βαλβίδας εξαγωγής. (2) Άνοιγμα θυρίδων σαρώσεως. (3) Κλείσιμο θυρίδων σαρώσεως. (4) Κλείσιμο βαλβίδας εξαγωγής. Σάρωση - υπερπλήρωση από 2 έως 3. Εξαγωγή από 1 έως 4.

όπως και στην περίπτωση των κινητήρων με θυρίδες εξαγωγής. Στην παρούσα όμως περίπτωση το διάγραμμα δεν είναι συμμετρικό, ενώ η διαφορά ανάμεσα στο κλείσιμο των θυρίδων και το κλείσιμο της βαλβίδας είναι μερικές μόνο μοίρες (σχ. 3.3ιζ).

3.4 Σύστημα εγχύσεως καυσίμου σε πετρελαιομηχανές.

3.4.1 Γενικά.

Το σύστημα εγχύσεως καυσίμου φροντίζει για τη σωστή ανάμειξη του πετρελαίου με το συμπιεσμένο μέσα στον κύλινδρο αέρα. Η καλή ανάμειξή τους είναι βασική προϋπόθεση για την επίτευξη σωστής καύσεως. Αποτέλεσμα της σωστής καύσεως είναι να διατηρούνται καθαρά τα εμπλεκόμενα στην καύση εξαρτήματα του κινητήρα, ενώ μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς για δεδομένη ποσότητα καυσίμου, εξασφαλίζοντας έτσι την οικονομική λειτουργία της μηχανής.

Στις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά είδη εγχύσεως. Το πρώτο είδος εφαρμόζεται μόνο σε βενζινοκινητήρες και αφορά στην έγχυση του καυσίμου εκτός του θαλάμου καύσεως και εντός του αγωγού εισαγωγής. Η έγχυση μπορεί να είναι συνεχής (πολυκύλινδρη μηχανή με μονό εγχυτήρα) ή διακοπτόμενη (διαφορετικός εγχυτήρας για κάθε κύλινδρο). Στην πρώτη περίπτωση, γίνεται συνεχής έγχυση καυσίμου στον κεντρικό αγωγό εισαγωγής, με το μείγμα να παραλαμβάνεται στη φάση εισαγωγής. Στη δεύτερη περίπτωση, η έγχυση πραγματοποιείται σε κάθε αγωγό εισόδου ξεχωριστά, μόνο όταν οι αντίστοιχες βαλβίδες εισαγωγής είναι ανοικτές.

Το δεύτερο είδος εγχύσεως εφαρμόζεται επίσης σε βενζινοκινητήρες και αφορά στην έγχυση καυσίμου εντός του κυλίνδρου, κατά τη φάση της εισαγωγής ή της συμπιέσεως. Η έγχυση γίνεται αρκετά πιο νωρίς από την έναυση, έτσι ώστε να διατίθεται ο αναγκαίος χρόνος για την πλήρη εξαέρωση του καυσίμου.

Το τρίτο είδος εγχύσεως χρησιμοποιείται κυρίως σε πετρελαιοκινητήρες. Η έγχυση πραγματοποιείται κοντά στο ΑΝΣ για να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η καύση του μείγματος, η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα και η εξαέρωση του καυσίμου.

Στη συνέχεια θα περιγραφεί η περίπτωση της εγχύσεως σε πετρελαιοκινητήρες, ενώ τα αντίστοιχα συστήματα για βενζινοκινητήρες θα εξεταστούν στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Η έγχυση στους πετρελαιοκινητήρες ανήκει αποκλειστικά στο τρίτο από τα προαναφερθέντα είδη, πραγματοποιείται δηλαδή λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ εντός του θαλάμου καύσεως, όπου επικρατούν συνθήκες πολύ υψηλής πιέσεως. Για να επιτευχθεί η σωστή ανάμειξη του αέρα με το καύσιμο, το καύσιμο κατά την έγχυσή του πρέπει:

– Να διασπαστεί σε μικροσκοπικά σταγονίδια (με τη μορφή νέφους).
– Να διασκορπισθεί σε όλο το χώρο του θαλάμου καύσεως.
– Να επιτευχθεί πλήρης και ομοιόμορφη ανάμειξη του αέρα με τα σταγονίδια του καυσίμου.
– Να εξατμισθεί στη συνέχεια πλήρως.

Στο τέλος της φάσεως συμπιέσεως ο εγκλωβισμένος αέρας εντός του κυλίνδρου βρίσκεται σε πολύ υψηλή πίεση. Συνεπώς, για να μπορέσει το καύσιμο να εισέλθει και να διασπαστεί σε όσο το δυνατόν μικρότερα σταγονίδια, καταλαμβάνοντας όλο τον όγκο του θαλάμου καύσεως, πρέπει να οδηγείται εκεί με πίεση πολύ μεγαλύτερη από την επικρατούσα στον κύλινδρο (η οποία κυμαίνεται από 80 έως 200 bar). Επιπρόσθετα, με την υψηλή εφαρμοζόμενη πίεση, εμποδίζεται ο συμπιεσμένος αέρας να εισέλθει στο σύστημα εγχύσεως του καυσίμου. Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την κατάλληλη σχεδίαση του συστήματος εγχύσεως.

Ένα τυπικό σύστημα προσαγωγής και εγχύσε-

ως καυσίμου σε πετρελαιομηχανή περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα:

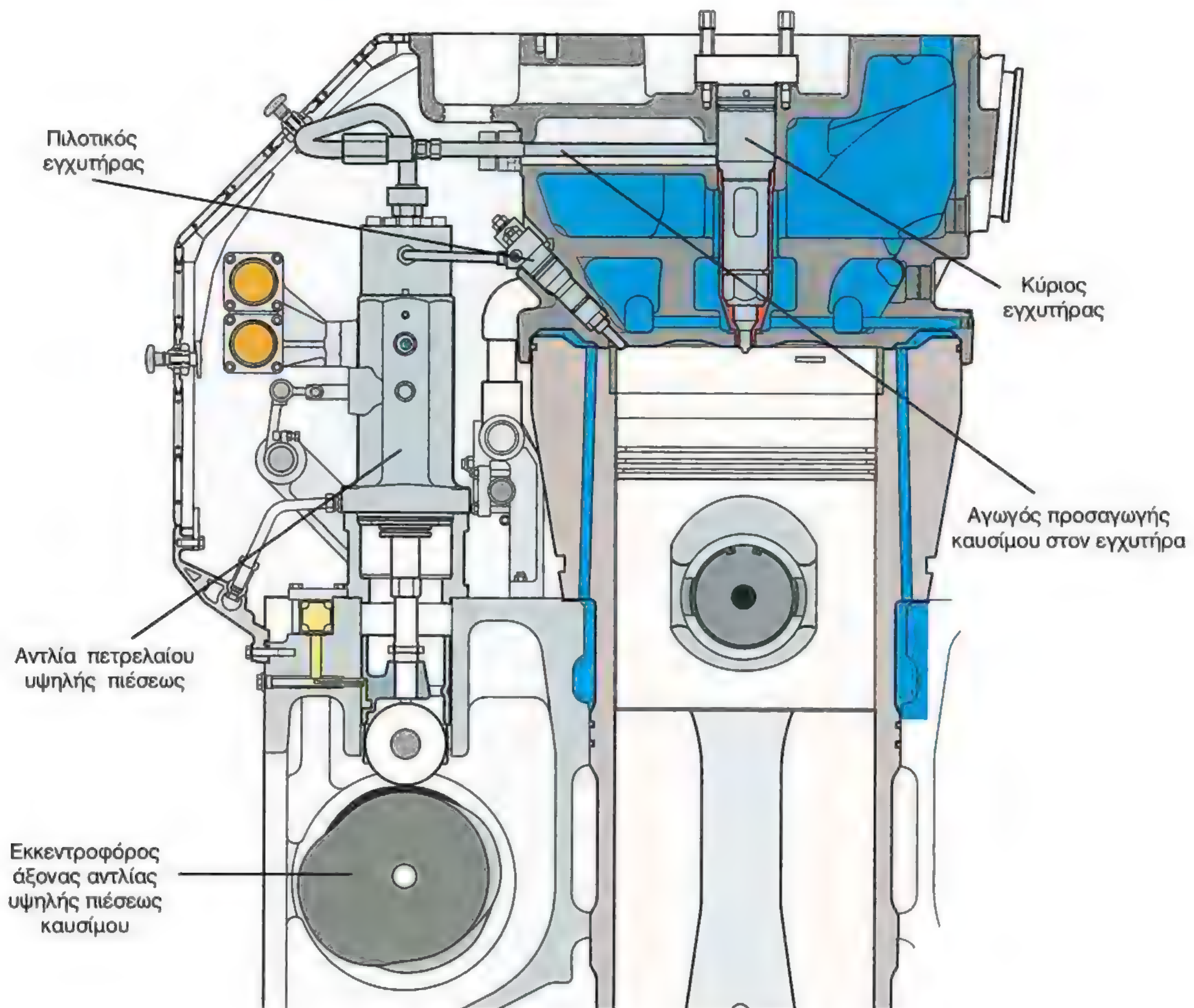
– Δεξαμενή ή δεξαμενές αποθηκεύσεως πετρελαίου.
– Σωληνώσεις προσαγωγής και επιστροφής πετρελαίου.
– Προθερμαντήρες πετρελαίου.
– Φίλτρα καθαρισμού πετρελαίου.
– Φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες πετρελαίου για τον καθαρισμό του από ξένες προσμείξεις όπως νερό, λασπώδη και στερεά κατάλοιπα (συναντώνται σε μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος).
– Δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως ή δεξαμενές χρήσεως (συναντώνται σε εγκαταστάσεις μηχανών μέσης και μεγάλης ισχύος).
– Αντλίες τροφοδοσίας χαμηλής πιέσεως.
– Αντλίες υψηλής πιέσεως (εγχύσεως ή καταθλίψεως).
– Εγχυτήρες.

Τα παραπάνω τμήματα θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο, εκτός των εγχυτήρων που θα περιγραφούν στη συνέχεια.

3.4.2 Εγχυτήρας.

α) Γενικά.

Οι *εγχυτήρες* (μπεκ) αποτελούν το τελευταίο τμήμα του συστήματος εγχύσεως στις πετρελαιομηχανές. Είναι τοποθετημένοι στην κεφαλή (πώμα) των κυλίνδρων και λόγω της θέσεώς τους καταπονούνται από τις υψηλές πιέσεις και τις μεταβολές της θερμοκρασίας στους θαλάμους καύσεως των κυλίνδρων (σχ. 3.4α).



Σχ. 3.4α.
Σύστημα αντλίας υψηλής πιέσεως και εγχυτήρων μιας τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής.

Ο κύριος σκοπός τους είναι η διάσπαση, η έγχυση και ο διασκορπισμός ορισμένης ποσότητας πετρελαίου μέσα στο θερμό και πυκνό αέρα των θαλάμων καύσεως. Από την ακρίβεια της εκτελέσεως όλων αυτών των εργασιών μέσα στον ελάχιστο διατιθέμενο χρόνο του κύκλου λειτουργίας, εξαρτάται η ομαλή καύση του καυσίμου και η αποδοτική λειτουργία της μηχανής. Παράλληλα, έχουν βοηθητικό ρόλο στην επίτευξη της σωστής δοσολογίας καυσίμου και επιτυγχάνουν σωστή στεγανοποίηση του θαλάμου καύσεως στο συγκεκριμένο σημείο που τοποθετούνται.

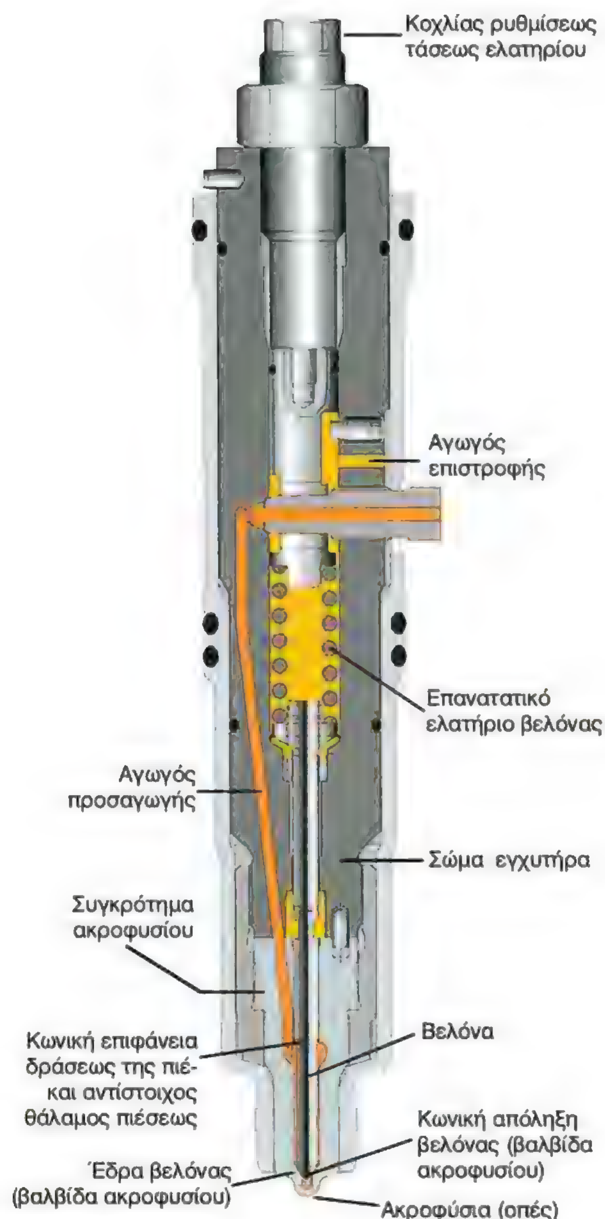
β) Περιγραφή τμημάτων εγχυτήρα.

Συναντώνται πολλά είδη εγχυτήρων, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος της μηχανής. Συνήθως, απαρτίζονται από τρία κύρια μέρη: το ***σώμα*** (κορμός), τη ***βελόνα*** (needle) με το στέλεχος και το ελατήριο επαναφοράς της, και τέλος το ***συγκρότημα του ακροφυσίου*** (nozzle assembly). Στο σχήμα 3.4β απεικονίζονται δύο τυπικοί εγχυτήρες πετρελαίου, ενώ στο σχήμα 3.4γ απεικονίζεται σε τομή ένας εγχυτήρας πετρελαίου πολλαπλών οπών.

Ο κορμός είναι κοίλο κυλινδρικό σώμα, εντός το οποίου προσαρμόζονται τα υπόλοιπα τμήματα του εγχυτήρα. Στο εξωτερικό του μέρος φέρει συνήθως σπείρωμα για την προσαρμογή του στο αντίστοιχο σπείρωμα της κεφαλής των κυλίνδρων. Η προσαρμογή εναλλακτικά, μπορεί να γίνει όχι με κεντρικό αυτοφερόμενο σπείρωμα, αλλά με ειδική διαμόρφωση για να προσαρμοστεί και να στερεωθεί με κοχλίες στο άνοιγμα (φωλιά) της κεφαλής των κυλίνδρων (σχ. 3.4α). Στο άνω άκρο του φέρει κοχλία για να ρυθμίζει την τάση στο ελατήριο επα-



Σχ. 3.4β.
Εγχυτήρες καυσίμου σε τετράχρονη πετρελαιομηχανή [(α) κύριος, (β) πιλοτικός]. Η φωτογραφίες τους δεν είναι στην ίδια κλίμακα.



Σχ. 3.4γ.
Τομή εγχυτήρα πολλαπλών οπών σε πετρελαιομηχανή.

ναφοράς της βελόνας, ενώ στο κάτω άκρο του προσαρμόζεται το ακροφύσιο.

Στο εσωτερικό μέρος του κορμού διαμορφώνεται ένας κεντρικός κυλινδρικός αγωγός για την τοποθέτηση του ελατηρίου και του στελέχους της βελόνας. Μέσα από τον αγωγό αυτό πραγματοποιείται και η έξοδος του πλεονάζοντος καυσίμου προς τον αγωγό επιστροφής. Παράλληλα με τον κεντρικό αγωγό διαμορφώνεται ο αγωγός προσαγωγής του καυσίμου από το σωλήνα υψηλής πιέσεως στο χώρο της βελόνας.

Το συγκρότημα του ακροφυσίου (nozzle assembly) προσαρμόζεται με σπείρωμα στο κάτω μέρος του κορμού. Περιλαμβάνει μία ή περισσότερες οπές (τα ακροφύσια - nozzles), μέσα από τις οποίες γίνεται η ροή του καυσίμου και ο διασκορπισμός του σε νέφος σταγονιδίων. Στο εσωτερικό του συγκροτήματος του ακροφυσίου σχηματίζεται κοιλότητα (θάλαμος πιέσεως), που καταλήγει σε κωνική έδρα. Εκεί καταλήγει και η βελόνα του εγχυτήρα. Το κωνικό της άκρο εφαρμόζει τέλεια στην κωνική έδρα του συγκροτήματος του ακροφυσίου, όταν ο εγχυτήρας βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Το συγκεκριμένο τμήμα του ακροφυσίου μαζί με την εφαπτόμενη βελόνα σχηματίζουν τη βαλβίδα του ακροφυσίου. Στο σημείο που η βελόνα περνά μέσα από το θάλαμο πιέσεως, μειώνεται με κατάλληλη κωνικότητα η διάμετρός της. Στο κωνικό αυτό τμήμα εφαρμόζεται η πίεση του καυσίμου για το άνοιγμα της βαλβίδας.

γ) Λειτουργία των εγχυτήρων.

Η λειτουργία στους περισσότερους τύπους εγχυτήρων είναι συνήθως υδραυλική, ενώ μικρός αριθμός εγχυτήρων λειτουργεί μηχανικά.

Στον εγχυτήρα υδραυλικής λειτουργίας το καύσιμο φτάνει με ιδιαίτερα υψηλή πίεση στο θάλαμο πιέσεως του ακροφυσίου, μέσω του αγωγού υψηλής πιέσεως, προερχόμενο από την αντλία υψηλής πιέσεως. Όταν η πίεση του πετρελαίου, ενεργώντας πάνω σε συγκεκριμένη κωνική επιφάνεια της βελόνας, δώσει δύναμη μεγαλύτερη της τάσεως του ελατηρίου, η βελόνα ανυψώνεται συμπιέζοντας το ελατήριο. Κατά την ανύψωση της βελόνας αποκαλύπτεται η οπή του ακροφυσίου, οπότε το πετρέλαιο περνάει μέσα από την οπή (ή τις οπές) του ακροφυσίου, επιταχύνεται λόγω της στενώσεως του ακροφυσίου και ψεκάζεται στο θάλαμο καύσεως όπου διασπάται σε πολύ μικρά σταγονίδια (σχ. 3.4δ). Ο ψεκασμός του καυσίμου συνεχίζεται μέχρι τη διακοπή της παροχής από την αντλία εγχύσεως (υψηλής πιέσεως).

Όταν διακόπτεται η παροχή καυσίμου, παύει η εφαρμοζόμενη πίεση στο κωνικό τμήμα της βελόνας, με αποτέλεσμα την έκταση του ελατηρίου επαναφοράς της. Τότε, η βελόνα εφαρμόζει στεγανά στην κωνική έδρα του συγκροτήματος του ακροφυσίου και η έγχυση του καυσίμου διακόπτεται απότομα. Η περίσσεια καυσίμου κατευθύνεται αναγκαστικά προς τον αγωγό επιστροφής μέσω του κεντρικού αγωγού του εγχυτήρα. Από εκεί, μέσω του συστήματος επιστροφής του καυσίμου καταλήγει στη δεξαμενή χρήσεως ή στην αντλία καταθλίψεως.

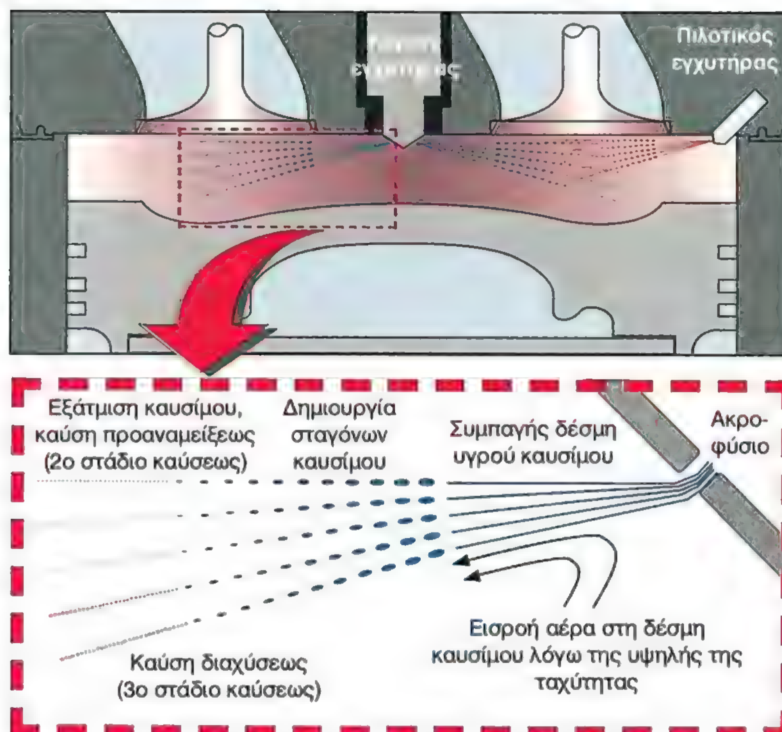
Στα σύγχρονα συστήματα εγχύσεως (όπως θα περιγραφούν αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο) ο ακριβής χρόνος της ενάρξεως και λήξεως της εγχύσεως πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, που ελέγχεται από κεντρικό ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.

Η λίπανση του εγχυτήρα πραγματοποιείται από το ίδιο το καύσιμο, οπότε πρέπει να υπάρχει μια μόνιμη, σχετικά μικρή επιστροφή καυσίμου με ροή από τον αγωγό καταθλίψεως προς τον κεντρικό αγωγό επιστροφής. Το καύσιμο που επιστρέφει, λιπαίνει τις επιφάνειες επαφής της βελόνας με το σώμα, ενώ στη συνέχεια οδηγείται γύρω από το στέλεχος της βελόνας, στο χώρο του ελατηρίου, και απομακρύνεται από το σύστημα επιστροφής πετρελαίου.

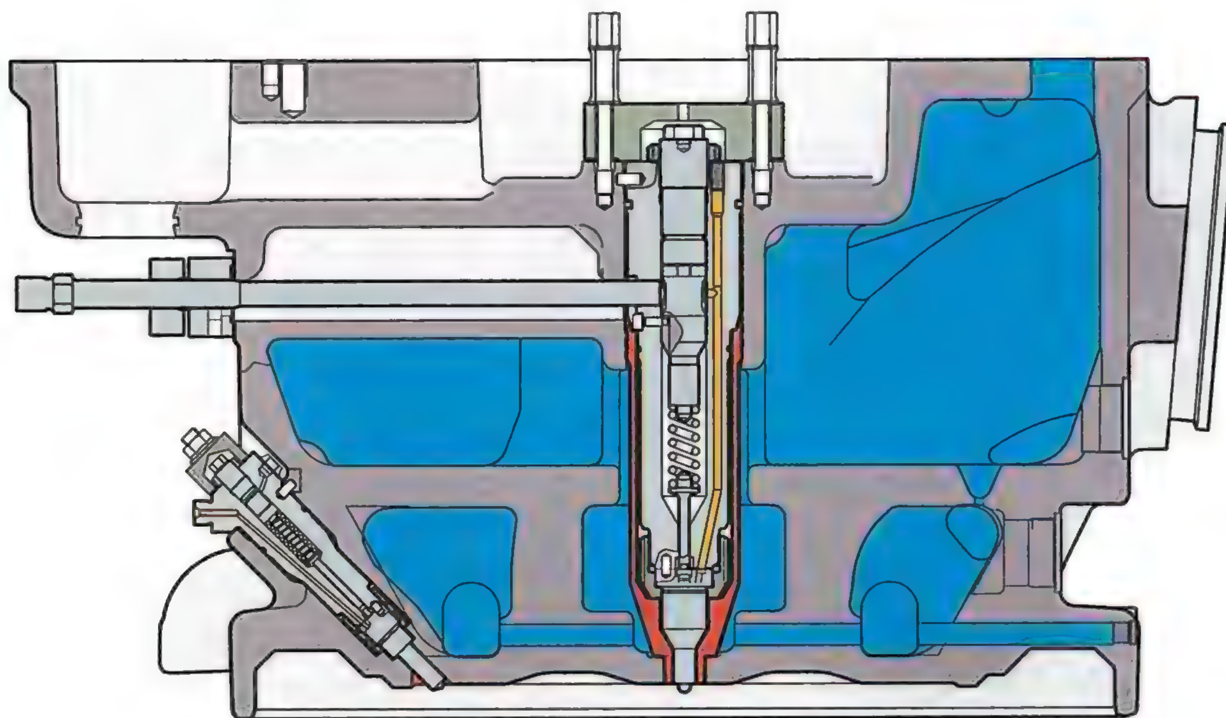
Στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές εκτός του κύριου (κεντρικού) εγχυτήρα συναντάται και η χρήση δευτερεύοντος ***πιλοτικού εγχυτήρα***, τοποθετημένου στα πλάγια του πώματος (σχ. 3.4α και 3.4ε). Ο πιλοτικός εγχυτήρας προηγείται και εγχύει μικρή ποσότητα καυσίμου, το οποίο με την πρόωρη ανάφλεξή του βελτιώνει την εξάτμιση της κύριας μάζας του καυσίμου που εγχύεται από τον κεντρικό εγχυτήρα. Μειώνει έτσι την καθυστέρηση της εναύσεως. Παράλληλα, επιτρέπει την έγχυση καυσίμων κακής ποιότητας αναφλέξεως, ρυθμίζει καλύτερα την ποσότητα του καυσίμου σε συνθήκες πολύ χαμηλού φορτίου και μειώνει το θόρυβο καύσεως (σταδιακή έγχυση) καθώς και τις εκπομπές ρύπων (μέσω της μειώσεως της μέγιστης πιέσεως και θερμοκρασίας της καύσεως).

3.4.3 Είδη εγχυτήρων.

Οι εγχυτήρες διακρίνονται σε εγχυτήρες μιας οπής και εγχυτήρες πολλών οπών.



Σχ. 3.4δ.
Σχηματισμός νέφους καυσίμου σε τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα.



Σχ. 3.4ε.
Ο κύριος (κεντρικός) και ο πιλοτικός (αριστερά) εγχυτήρας σε τομή, τοποθετημένοι στο πώμα τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής.

α) Εγχυτήρας μιας οπής.

Τα ακροφύσια μιας οπής χρησιμοποιούνται συνήθως στους κινητήρες που διαθέτουν προθάλαμο καύσεως. Η βελόνα του ακροφυσίου μετά τη βαλβίδα εγχύσεως φέρει συνήθως προέκταση στο κάτω άκρο της σε σχήμα μικρού αξονίσκου με κωνική απόληξη (σχ. 3.4στ). Ο συνδυασμός της εσωτερικής κωνικότητας της οπής του ακροφυσίου με την κωνική διαμόρφωση της βελόνας έχει άμεση επίδραση στη μορφή της δέσμης του καυσίμου. Δημιουργείται έτσι αξονοσυμμετρική δέσμη, συμπαγής ή με μορφή κοίλου κώνου, ανάλογα με το βαθμό βυθίσεως της προεκτάσεως της βελόνας. Έτσι στην αρχή της εγχύσεως ο αξονίσκος βυθίζεται ελάχιστα στο εσωτερικό του ακροφυσίου, δημιουργώντας δέσμη κοίλου κώνου μικρής παροχής. Στη συνέχεια, η πλήρης βύθιση του αξονίσκου επιτρέπει τη δημιουργία πιο συμπαγούς δέσμης, επιτυγχάνοντας έτσι τη μεταβλητή έγχυση καυσίμου, με τη μεγαλύτερη ποσότητα να εγχύεται στο τέλος της διαδικασίας. Η τεχνική αυτή έχει σημαντικό αποτέλεσμα στη μείωση του θορύβου της καύσεως.

Η προεκβολή αυτή της βελόνας έξω από το στόμιο της βαλβίδας, έχει και το πρόσθετο πλεονέκτημα του αυτόματου καθαρισμού του στομίου από υπολείμματα της καύσεως, που μπορεί να έχουν συγκεντρωθεί εκεί.

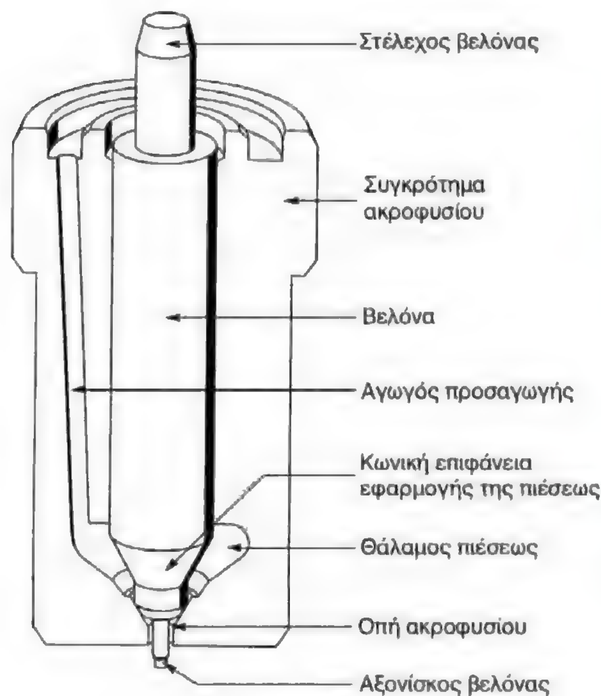
β) Εγχυτήρας πολλών οπών.

Τα ακροφύσια πολλών οπών χρησιμοποιούνται κυρίως σε θαλάμους καύσεως ενιαίου τύπου, ενώ δεν διαφέρουν αισθητά από τα ακροφύσια μίας οπής, με κύρια διαφορά το χαρακτηριστικό ότι η βελόνα τους δεν φέρει προεκβολή μετά τη βαλβίδα (σχ. 3.4γ). Οι οπές είναι ευθύγραμμες, ακτινικά διατεταγμένες γύρω από την τυφλή κοιλότητα και κάτω από την έδρα της βαλβίδας (κωνική απόληξη βελόνας).

Το καύσιμο που διέρχεται από κάθε μια από τις οπές, είναι σχετικά πυκνό και δεν παρουσιάζει διακοπές στη ροή του.

Το σχήμα του νέφους του καυσίμου κατά την έγχυση εξαρτάται από τη θέση των οπών. Για να υπάρξει καλή κατανομή του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσεως, οι οπές πρέπει να είναι κατανεμημένες συμμετρικά. Όσον αφορά στον αριθμό τους είναι συνήθως μέχρι 12, ενώ σε ορισμένους κινητήρες μεγάλης ισχύος φτάνουν μέχρι και 18.

Η διάμετρος και το μήκος των οπών επηρεάζουν τη μορφή και την πορεία της εκάστοτε δέσμης του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσεως. Η διάμετρος των οπών στα πιο διαδεδομένα ακροφύσια αρχίζει από 0,2 mm. Ακροφύσια πετρελαιοκινητήρα πολλαπλών οπών παρουσιάζονται στο σχήμα 3.4ζ, ενώ στο σχήμα 3.4η απεικονίζονται εγχυτήρες μιας και πολλαπλών οπών, σε τομή.



Σχ. 3.4στ.
Συγκρότημα ακροφυσίου μονής οπής.

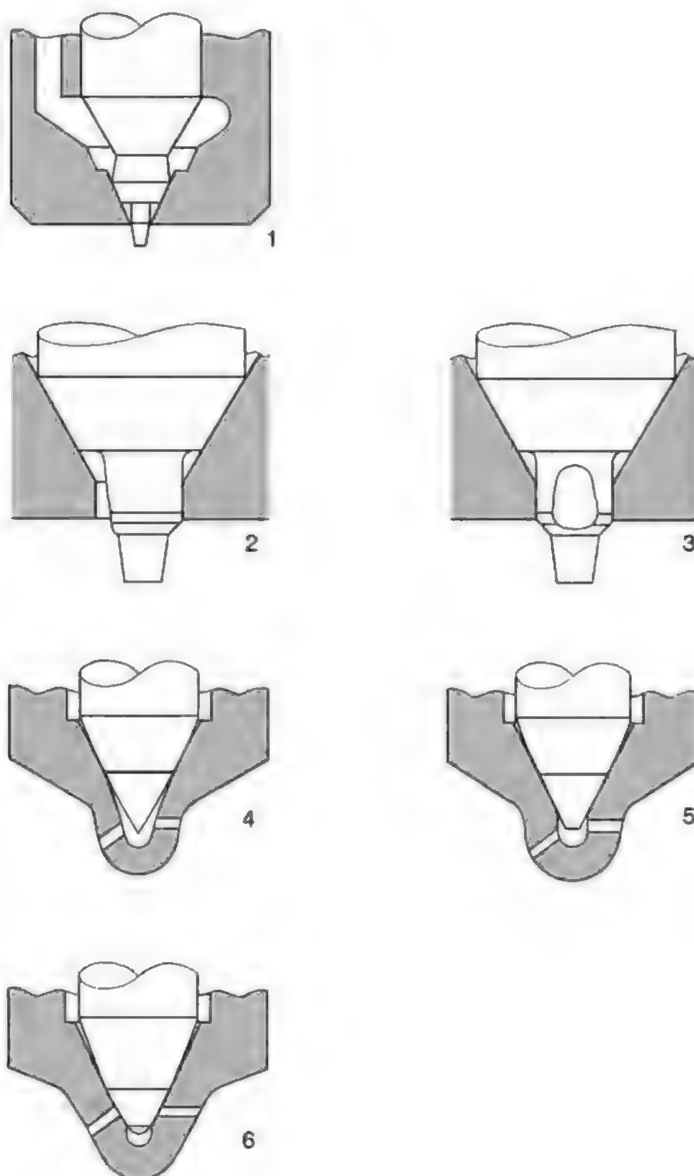


Σχ. 3.4ζ.
Συγκροτήματα ακροφυσίων πολλαπλών οπών.

3.4.4 Σχηματισμός του νέφους σωματιδίων.

Ανάλογα με τη διατομή του ακροφυσίου σχηματίζεται διαφορετική μορφή νέφους σωματιδίων. Στην περίπτωση των πετρελαιοκινητήρων, λόγω της μεγάλης πιέσεως που επικρατεί κατά την έγχυση, απαιτείται συμπαγής δέσμη καυσίμου με ισχυρή ορμή, για να μπορέσει να διαπεράσει τον πυκνό αέρα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται κατάλληλα ακροφύσια (επίπεδης σχισμής), που παράγουν δέσμη καυσίμου αρκετά συμπαγή στο κέντρο. Αυτή περιβάλλεται όμως από μια εξωτερική ζώνη διαχωρισμένων σταγονιδίων, σε μορφή νέφους.

Οι τετράχρονοι πετρελαιοκινητήρες φέρουν τον κύριο εγχυτήρα τους τοποθετημένο στο κέντρο του πώματος, δημιουργώντας έτσι δέσμες διατεταγμένες ακτινικά. Αντίθετα, οι μεγάλοι αργόστροφοι δίχρονοι πετρελαιοκινητήρες με βαλβίδα εξαγωγής φέρουν διαφορετικά ακροφύσια, διατεταγμένα περιφερειακά, τα οποία δημιουργούν δέσμες καυ-

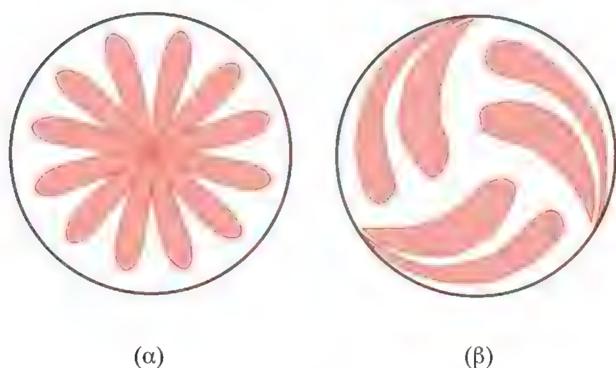


Σχ. 3.4η.
Διαφορετικές διατάξεις ακροφυσίων. Μιας οπής (1, 2, 3) και πολλαπλών οπών (4, 5, 6).

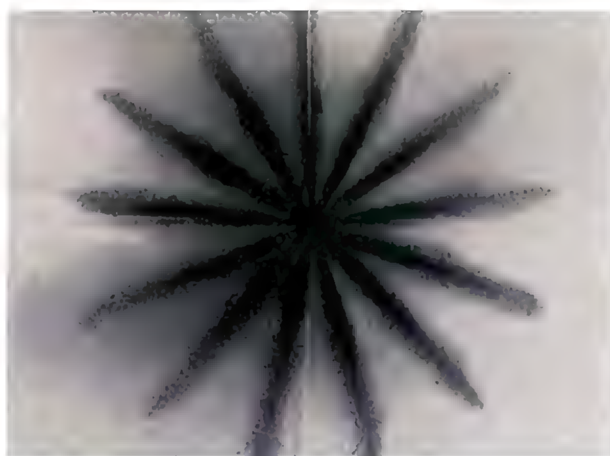
σίμου σε περιφερειακή διάταξη (σχ. 3.4θ, 3.4ι και 3.4ια). Οι αργόστροφοι κινητήρες με θυρίδες εξαγωγής μπορεί να φέρουν στο πώμα κεντρικό εγχυτήρα.

Τα ακροφύσια που χρησιμοποιούνται στους βενζινοκινητήρες (ή σε πετρελαιοκινητήρες χαμηλής συμπιέσεως), παράγουν δέσμη σταγονιδίων αποκλειστικά με τη μορφή νέφους, χωρίς συμπαγή κεντρική ζώνη.

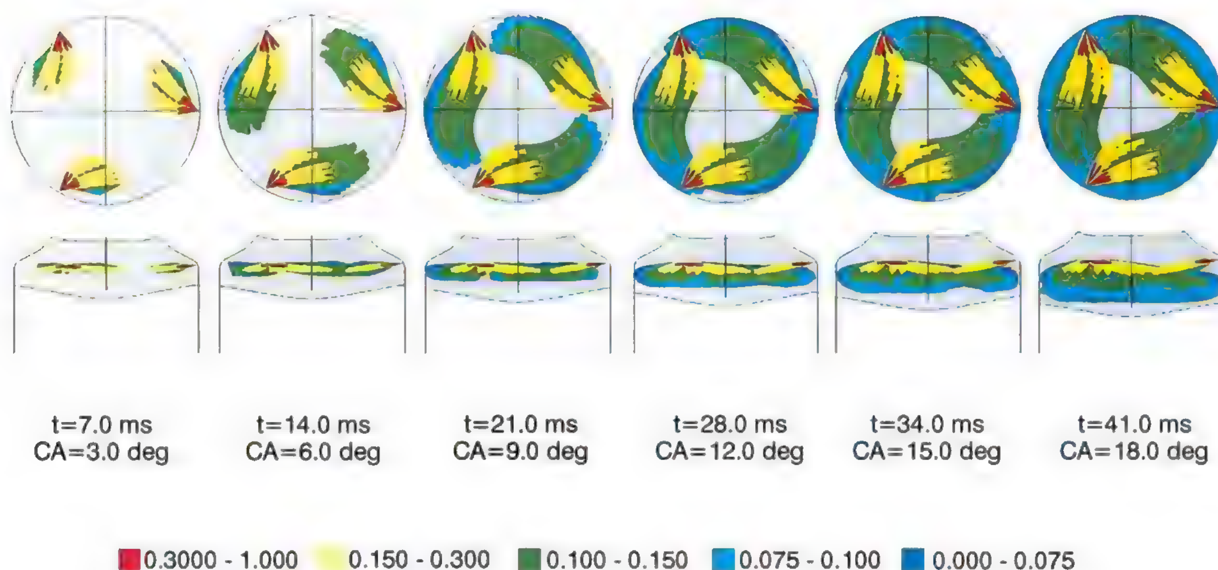
Τα παραγόμενα νέφη από δέσμες με συμπαγή κεντρικό πυρήνα προκαλούν καλύτερη εξαέρωση του καυσίμου. Αντίστοιχα, η μείωση στη διάμετρο της οπής του ακροφυσίου οδηγεί στη μείωση της διαμέτρου των παραγομένων σταγονιδίων. Έτσι, εί-



Σχ. 3.4θ.
Σχηματική απεικόνιση δεσμών καυσίμου σε τετράχρονη μεσόστροφη πετρελαιομηχανή (α) και σε μεγάλη δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή με τρεις εγχυτήρες (β).



Σχ. 3.4ι.
Φωτογραφία των δεσμών καυσίμου, όπως εξέρχονται από κεντρικό εγχυτήρα πολλαπλών οπών σε τετράχρονη πετρελαιομηχανή.



Σχ. 3.4ια.
Προσομοίωση (σε ηλεκτρονικό υπολογιστή) της αναπτύξεως των δεσμών του καυσίμου σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή με τρεις περιφερειακούς εγχυτήρες. Οι διαδοχικές θέσεις χαρακτηρίζονται από τους αντίστοιχους χρόνους και γωνίες στροφάλου, με αναφορά στο ΑΝΣ. Τα διαφορετικά χρώματα αντιστοιχούν σε διαφορετικές συγκεντρώσεις καυσίμου (μέγιστη με κόκκινο, ελάχιστη με μπλε).

ναι προτιμότερο η παροχή του καυσίμου να οδηγείται από περισσότερες μικρότερες οπές στο θάλαμο καύσεως και όχι από μία μεγαλύτερη κεντρική. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το μέγεθος των σταγονιδίων (πιο γρήγορη εξαέρωση), ενώ ο διασκορπισμός μπορεί να γίνει προς διαφορετικές διευθύνσεις, καλύπτοντας αποδοτικότερα τον όγκο του θαλάμου καύσεως.

Η διάμετρος του κάθε σταγονιδίου πρέπει να είναι της τάξεως των 10 μm (μικρών). Η ελαχιστοποίηση της διαμέτρου της σταγόνας και παράλληλα η δημιουργία μεγάλου αριθμού σταγόνων μεγιστοποιεί τη συνολική ελεύθερη επιφάνεια μεταξύ καυσίμου και αέρα, οπότε διευκολύνεται η εξάτμισή του και η ανάμειξή του με τον αέρα. Μικρές μεταβολές στη διάμετρο της κάθε σταγόνας (λόγω ακαθάρτων ή αρυθμίστων ακροφυσίων) έχουν πολύ μεγάλη επίδραση στο ρυθμό εξατμίσεως του καυσίμου. Αυτό οφείλεται στη σημαντική μεταβολή της επιφάνειας της σταγόνας, που είναι ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου της.

Η διάσπαση της δέσμης του καυσίμου σε μικρά σταγονίδια πραγματοποιείται με την επιτάχυνση του καυσίμου εντός του ακροφυσίου. Η δέσμη καυσίμου μεγάλης ταχύτητας, καθώς εισέρχεται στον πυκνό αέρα του θαλάμου καύσεως, διασπάται, σχηματίζοντας νέφος σταγονιδίων. Η εξάτμιση των σταγονιδίων επιταχύνεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του συμπιεσμένου αέρα, ενώ η διάχυσή τους σε όλο τον όγκο του χώρου καύσεως υποβοηθείται από το στροβιλισμό του αέρα εντός του κυλίνδρου κατά τη διάρκεια της συμπιέσεως.

3.5 Εγκατάσταση (δίκτυο) πετρελαίου.

Μια τυπική εγκατάσταση μηχανοστασίου πλοίου περιλαμβάνει την κύρια ή τις κύριες μηχανές προώσεως καθώς και τις βοηθητικές ηλεκτρομηχανές (ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη). Για την κίνηση των μηχανών αυτών χρησιμοποιούνται δύο τύποι πετρελαίου. Το βαρύ πετρέλαιο (***Heavy Fuel Oil - HFO***) χρησιμοποιείται στις κύριες μηχανές, ενώ το πετρέλαιο Diesel (***Gas oil, Maritime Diesel Oil - MDO***) χρησιμοποιείται συνήθως στα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και στις κύριες μηχανές κατά τους χειρισμούς εν όρμω (αν και πλέον είναι δυνατή η καύση βαρέος πετρελαίου και από ορισμένες ηλεκτρομηχανές και κατά τους χειρισμούς εν όρμω των κυρίων μηχανών). Για κάθε καύσιμο υπάρχει διαφορετικό δίκτυο. Τα δίκτυα αυτά είναι δυνατόν να συνδυάζονται, όταν γίνεται χρήση και των δύο καυσίμων από τις κύριες μηχανές ή τις ηλεκτρομηχανές. Το δίκτυο πετρελαίου διακρίνεται σε εσωτερικό και εξωτερικό. Το πρώτο βρίσκεται πάνω στη μηχανή, ενώ το δεύτερο απαρτίζεται από τα τμήματα εκτός της μηχανής.

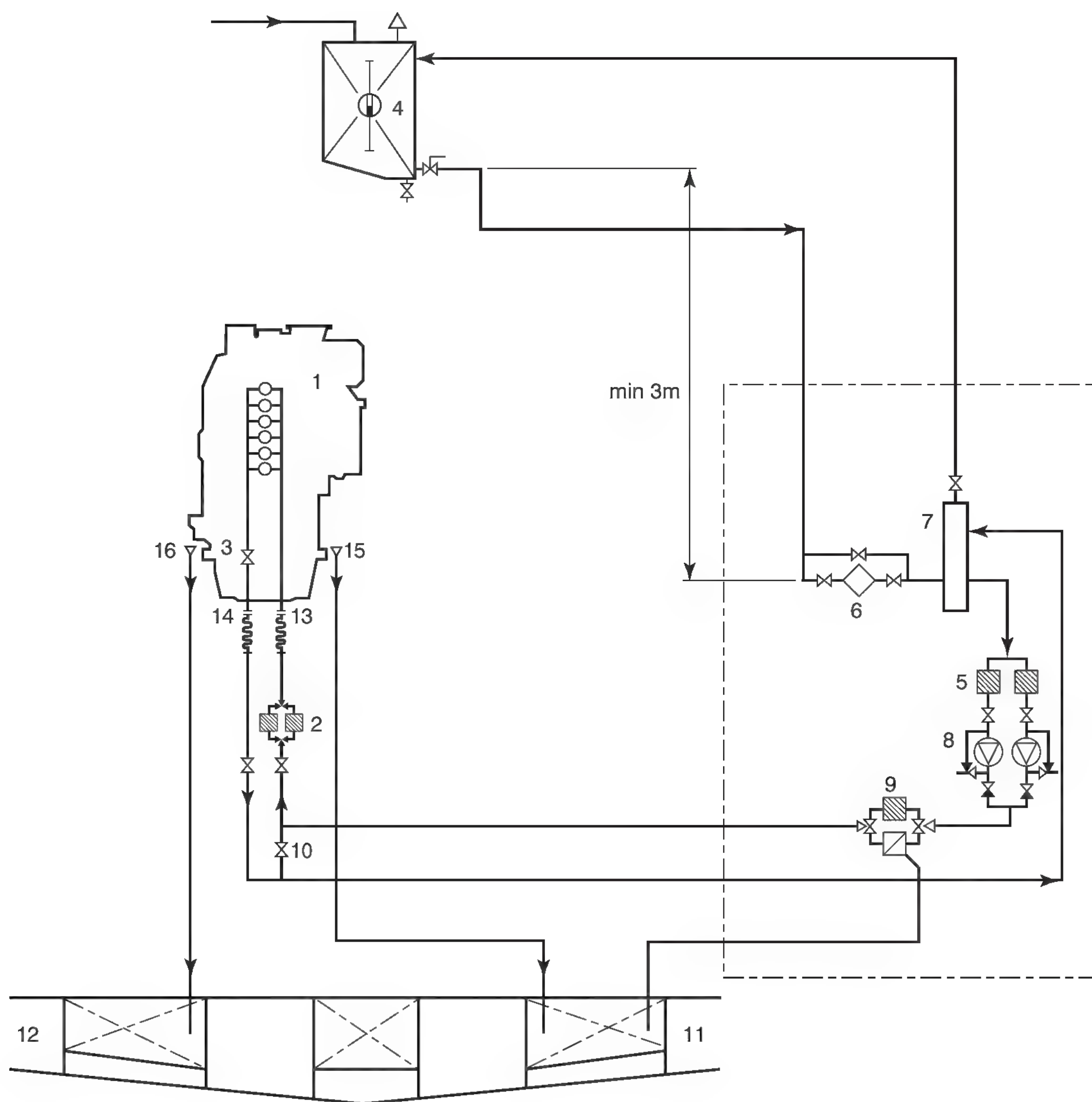
3.5.1 Δίκτυο πετρελαίου Diesel.

Κατά την παραλαβή του το πετρέλαιο Diesel αποθηκεύεται στις αντίστοιχες ***δεξαμενές αποθηκεύσεως*** (bunkers), που βρίσκονται στα διπύθμενα του πλοίου. Οι δεξαμενές αποθηκεύσεως διαθέτουν θυρίδες επιθεωρήσεως και αγωγούς εξαερισμού, που φθάνουν έως το κατάστρωμα του πλοίου. Στους αγωγούς πληρώσεως και αναρροφήσεως φέρουν απαραίτητα βάνες, για να είναι δυνατή η πλήρης απομόνωση της δεξαμενής. Το εσωτερικό τους διατρέχουν θερμαντικά στοιχεία ατμού (σερπαντίνες ατμού), για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του καυσίμου μεταξύ 15^o και 40^o C. Η θέρμανση είναι επιβεβλημένη για να μειωθεί το ιξώδες του πετρελαίου και να ρέει εύκολα στις σωληνώσεις του δικτύου.

Με τη βοήθεια αντλιών το καύσιμο μεταφέρεται στις ***δεξαμενές κατακαθίσεως*** (settling tanks), οι οποίες έχουν επικλινή πυθμένα. Εκεί συγκεντρώνεται το νερό που περιέχεται στο καύσιμο. Το νερό αυτό απομακρύνεται από το δίκτυο εξυδατώσεως προς τη ***δεξαμενή ακαθάρτων***. Εξωτερικά φέρουν διάφανο δείκτη στάθμεως. Οι δεξαμενές κατακαθίσεως είναι μονωμένες και θερμαίνονται, έτσι ώστε η θερμοκρασία του καυσίμου να κυμαίνεται από 20^o έως 40^o C.

Από τη δεξαμενή κατακαθίσεως το πετρέλαιο Diesel, μέσω φίλτρων και αντλιών θετικής μετατοπίσεως, που συνδέονται παράλληλα, οδηγείται στον ***προθερμαντήρα***, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται στους 50^o έως και τους 70^o C. Ακολουθεί ο ***φυγοκεντρικός καθαριστήρας*** (clarifier), όπου διαχωρίζονται τα στερεά κατάλοιπα και διάφορα πρόσθετα. Καθαρό πλέον το καύσιμο οδηγείται μέσω αντλίας στη ***δεξαμενή χρήσεως*** (service tank) ή δεξαμενή ***ημερήσιας καταναλώσεως*** (daily tank) (σχ. 3.5α). Και αυτή η δεξαμενή φέρει κωνικό πυθμένα για τη συγκέντρωση τυχόν υπάρχοντος νερού, ενώ εξωτερικά είναι τοποθετημένος διάφανος δείκτης στάθμεως. Η αποστράγγιση του νερού γίνεται μέσω ειδικού δικτύου, που καταλήγει στη δεξαμενή ακαθάρτων.

Το πετρέλαιο από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως περνά από ροόμετρο (για τη μέτρηση της καταναλώσεως) και στη συνέχεια οδηγείται σε ζεύγος παραλλήλων αντλιών θετικής εκτοπίσεως. Πριν



1. Πετρελαιομηχανή (Diesel engine).
2. Φίλτρα ασφαλείας (Safety filters).
3. Βαλβίδα ρυθμίσεως πιέσεως (Pressure control valve).
4. Δεξ. ημερ. καταναλώσεως (Day tank, diesel fuel).
5. Φίλτρα αναρροφήσεως (Suction filters).
6. Ροόμετρο (Flow meter).
7. Δεξαμενή αναμείξεως και εξαερισμού (Mixing tank).
8. Αντλίες ανακυκλοφορίας (Fuel circulating pumps).
9. Αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα (Automatic filters).
10. Βαλβίδα υπερχειλίσεως (Overflow valve).
11. Δεξαμενή επιστροφών καθαρού καυσίμου (Leak fuel tank, clean fuel).
12. Δεξαμενή επιστροφών ακάθαρτου καυσίμου (Leak fuel tank, dirty fuel).
13. Είσοδος καυσίμου (Fuel inlet).
14. Έξοδος καυσίμου (Fuel outlet).
15. Διαρροές καθαρού καυσίμου (Leak fuel drain, clean fuel).
16. Διαρροές ακάθαρτου καυσίμου (Leak fuel drain, dirty fuel).

Σχ. 3.5α.

Τμήμα του εξωτερικού δικτύου πετρελαίου Diesel από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως έως τον πετρελαιοκινητήρα.

από κάθε αντλία τοποθετείται μεταλλικό φίλτρο που προστατεύει τις αντλίες. Ακολουθεί ζεύγος παραλλήλων αυτοκαθαριζομένων φίλτρων και τελικά οδηγείται στις μηχανές. Η περίσσεια καυσίμου από τις μηχανές επιστρέφει σε ***δεξαμενή εξαερισμού*** (αναμείξεως) πριν από τις αντλίες, όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο που προσάγεται. Η επιπλέον ποσότητα επιστρέφει στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως.

3.5.2 Δίκτυο βαρέος πετρελαίου (σχ. 3.5β, 3.5γ).

Κατά την παραλαβή του το βαρύ πετρέλαιο αποθηκεύεται στις αντίστοιχες δεξαμενές αποθηκεύσεως (bunker tanks), όμοιες με αυτές του πετρελαίου Diesel. Εκεί διατηρείται σε θερμοκρασία 40° - 50° C ή και μεγαλύτερη. Στη συνέχεια, με τη χρήση αντλιών οδηγείται στις δεξαμενές κατακαθίσεως. Οι δεξαμενές αυτές φέρουν θερμαντικά στοιχεία, για να διατηρείται η θερμοκρασία του καυσίμου μεταξύ των 60 και 70° C, είναι μονωμένες και διαθέτουν μετρητές θερμοκρασίας (σχ. 3.5β). Οι δεξαμενές κατακαθίσεως πρέπει να έχουν αρκούντως μεγάλη επιφάνεια, για να γίνεται η κατακάθιση του νερού αποτελεσματικά (το νερό έχει μικρή διαφορά πυκνότητας από το καύσιμο).

Από τη δεξαμενή κατακαθίσεως το καύσιμο, αφού περάσει από φίλτρα, αντλείται (με αντλίες θετικής εκτοπίσεως) προς τους ***προθερμαντήρες***. Οι αντλίες είναι συνήθως δύο και συνδέονται παράλληλα. ΄Εχουν επίσης ένα φίλτρο για κάθε αντλία και έναν προθερμαντήρα (οι αντλίες μπορεί να απουσιάζουν αν είναι ενσωματωμένες στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές αν και η κατασκευή αυτή δεν ενδείκνυται για λόγους ασφαλείας). Είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι αντλίες να λειτουργούν συνεχώς σε σταθερές στροφές για την ομοιόμορφη λειτουργία του δικτύου.

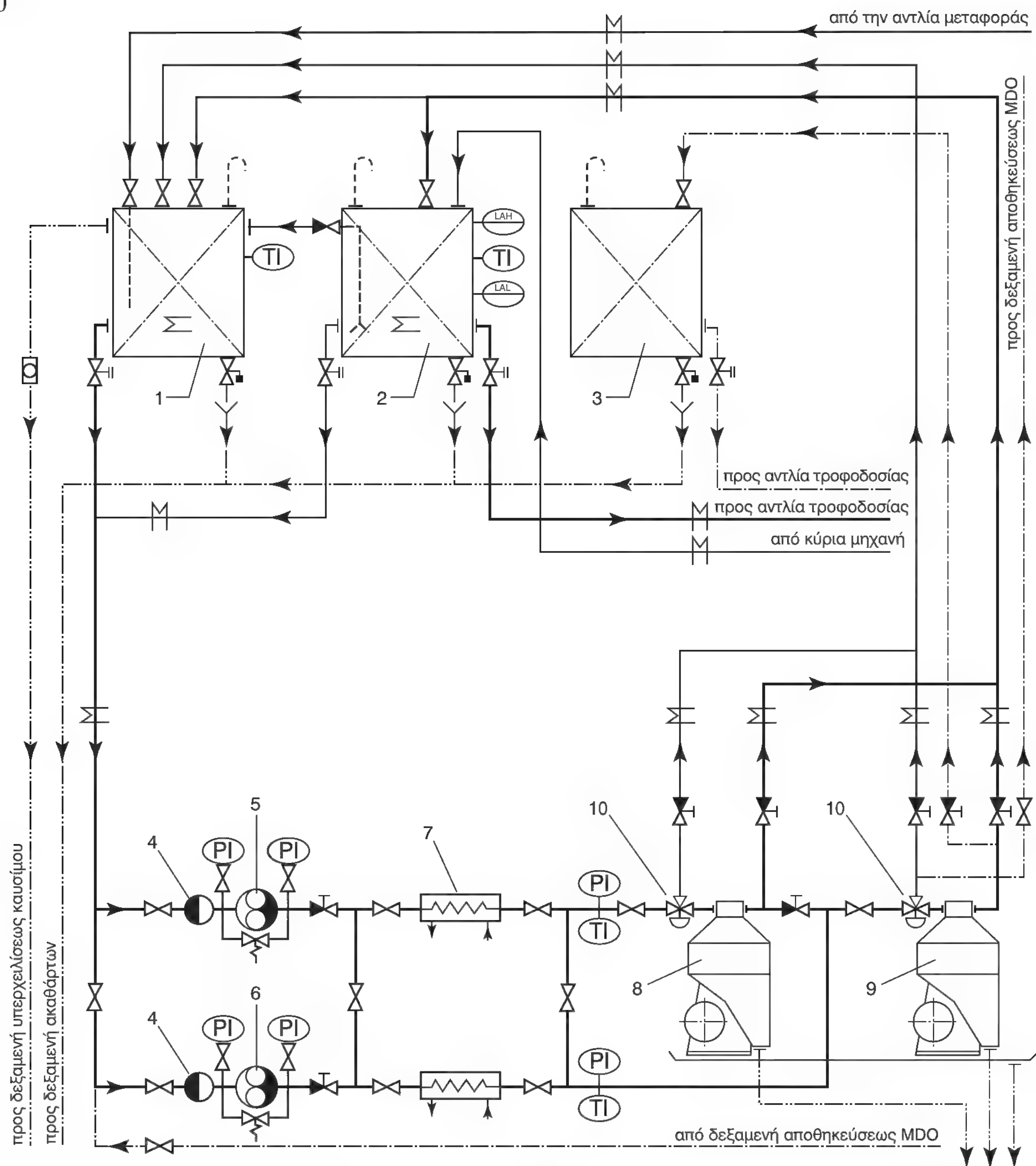
Οι προθερμαντήρες πρέπει να έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν με μεγάλη ακρίβεια τη θερμοκρασία του καυσίμου (με ακρίβεια 2° C) γιατί από τη θερμοκρασία εξαρτάται το ιξώδες. Το ιξώδες πρέπει να έχει συγκεκριμένες τιμές για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό του καυσίμου από τα στερεά κατάλοιπα. Η συνήθης θερμοκρασία προθερμάνσεως του βαρέος πετρελαίου είναι 98° C. Πριν την είσοδο του καυσίμου στους διαχωριστές παρεμβάλλονται συνήθως όργανα που μετρούν την πίεση και τη θερμοκρασία.

Μετά τους προθερμαντήρες ακολουθούν οι ***διαχωριστές καταλοίπων***, όπου αφαιρούνται στερεά κατάλοιπα και νερό. Είναι απαραίτητο, για λόγους υποστηρίξεως, να υπάρχουν τουλάχιστον δύο διαχωριστές. Παλαιότερα, αυτοί τοποθετούνταν παράλληλα, έτσι ώστε ο δεύτερος να λειτουργεί μόνο σε έκτακτες περιπτώσεις. Η σύγχρονη πρακτική είναι η σε σειρά σύνδεσή τους, για να βελτιώνει ο δεύτερος διαχωριστής τον καθαρισμό του πετρελαίου (***clarifier***), αφού περάσει από τον πρώτο διαχωριστή (***purifier***). Η διάταξη αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια.

Η παροχή καυσίμου που διαχειρίζεται κάθε διαχωριστής πρέπει να υπερβαίνει κατά 10% - 15% τη μέγιστη κατανάλωση των μηχανών (όχι πολύ περισσότερο). Η περίσσεια του καυσίμου, όταν υπάρχει, επιστρέφει από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως στη δεξαμενή κατακαθίσεως. Η λειτουργία των διαχωριστών είναι συνεχής (επί 24ώρου βάσεως), ενώ αυτοκαθαρίζονται ανά 2 έως 4 ώρες.

Μετά τους διαχωριστές το καύσιμο οδηγείται στη ***δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως***. Η δεξαμενή αυτή είναι θερμαινόμενη και μονωμένη, ενώ φέρει κεκλιμένο πυθμένα για να συγκεντρώνει το νερό και να το οδηγεί στη δεξαμενή ακαθάρτων. Φέρει μάλιστα εξαεριστικά (τα οποία οδηγούν στο κατάστρωμα). Σε αυτή τη δεξαμενή μπορεί να καταλήγουν οι επιστροφές καυσίμου από τις μηχανές (μέσω της δεξαμενής απαερισμού του καυσίμου). Η δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως συνδέεται με τη δεξαμενή κατακαθίσεως με αγωγό, ώστε να επιστρέφει στην τελευταία η επιπλέον ποσότητα καυσίμου που διαχειρίζονται οι διαχωριστές. Διαθέτει επίσης εξωτερικό διαφανή ενδείκτη στάθμεως.

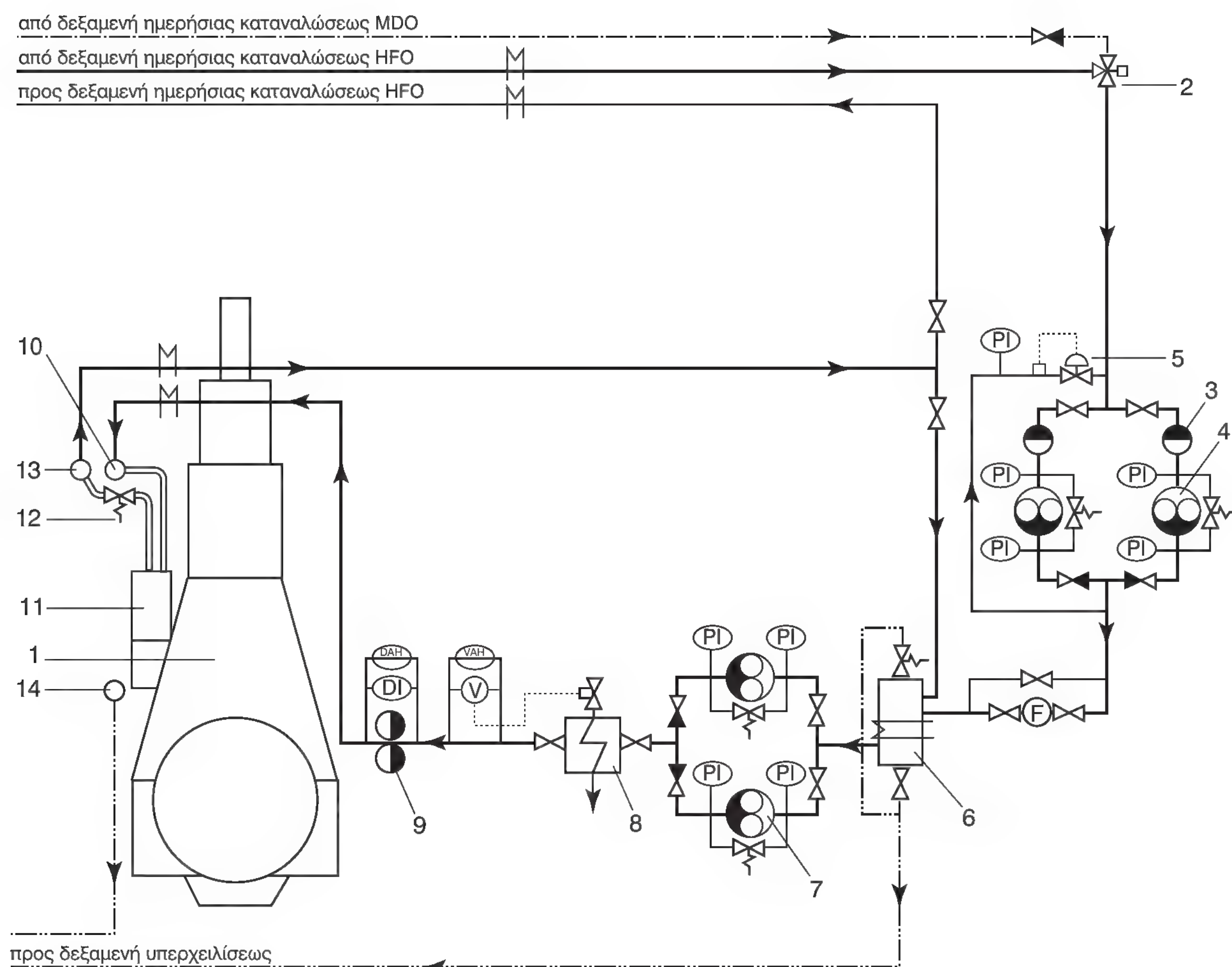
Μετά τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως παρεμβάλλεται ***τρίοδη βάνα***, με την οποία συνδέεται το κύκλωμα του πετρελαίου Diesel, μετά την έξοδό του από την αντίστοιχη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως (σχ. 3.5γ). Η συγκεκριμένη βάνα ελέγχει τον τύπο του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί. Ακολουθεί ***ζεύγος αντλιών*** θετικής εκτοπίσεως, που τοποθετείται παράλληλα (feed pumps). Κάθε αντλίας προηγείται ***μεταλλικό φίλτρο*** για την προστασία της. Η πίεση μετά τις αντλίες αυξάνεται περίπου στα 6 bar. Εκτός από το προηγούμενο ζεύγος αντλιών παρεμβάλλεται συνήθως και δεύτερο ζεύγος ***αντλιών ανακυκλοφορίας*** (circulating pumps). Οι αντλίες αυτές ανακυκλοφορούν το επιστρεφόμενο από τον κινητήρα καύσιμο. Φροντίζουν μάλιστα να διατηρηθεί η πίεση του καυσίμου μέσα στον κινητήρα σε σταθερά επίπεδα (περίπου 10 bar). Το καύσιμο που ανακυκλοφορεί, περνά κατά την επιστροφή



1. Δεξαμενή κατακαθίσεως βαρέος πετρελαίου (HFO settling tank, heated and insulated).
2. Δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως βαρέος πετρελαίου (HFO daily tank,heated and insulated).
3. Δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως πετρελαίου Diesel (MDO daily tank).
4. Φίλτρο αναρροφήσεως (Suction filter).
5. Αντλία βαρέος πετρελαίου προς διαχωριστή (HFO separator supply pump).
6. Αντλία βαρέος πετρελαίου Diesel προς διαχωριστή (HFO/MDO separator supply pump).
7. Προθερμαντήρας βαρέος πετρελαίου (HFO pre-heater).
8. Αυτοκαθαριζόμενος διαχωριστής βαρέος πετρελαίου (purifier) (Self-cleaning HFO separator).
9. Αυτοκαθαριζόμενος διαχωριστής βαρέος πετρελαίου και πετρελαίου Diesel (clarifier)-(Self-cleaning HFO/MDO separator).
10. Τρίοδος βαλβίδα (Three-way valve, diaphragm operated).

Αγωγοί HFO θερμαινόμενοι και μονωμένοι (HFO pipes, heated and insulated).
Αγωγοί MDO (MDO pipes).
Αγωγοί εξαερισμού (Air vent pipes).
Αγωγοί εξυδατώσεως και υπερχειλίσεως (Drain and overflow pipes).
PI Μετρητής πιέσεως (τοπικός).
TI Μετρητής θερμοκρασίας.
LAH Συναγερμός υψηλής στάθμης (Level alarm high).
LAL Συναγερμός χαμηλής στάθμης (Level alarm low).

Σχ. 3.5β.
Αρχικό τμήμα σε εξωτερικό δίκτυο βαρέος πετρελαίου.



1. Κύρια μηχανή (Main engine).
2. Τρίοδος βαλβίδα επιλογής καυσίμου (βαρέος ή Diesel) (Three-way valve, manually or remotely operated).
3. Θερμαινόμενο φίλτρο αναρροφήσεως [Suction filter, heated (trace heating acceptable)].
4. Αντλία μεταγγίσεως χαμηλής πιέσεως (Low pressure feed pump).
5. Βαλβίδα ρυθμίσεως πιέσεως (Pressure regulating valve).
6. Θερμαινόμενη δεξαμενή αναμείξεως (Mixing unit, heated and insulated).
7. Αντλίες ανακυκλοφορίας (High pressure booster pumps).
8. Τελικός προθερμαντήρας (ελεγχόμενος από το ιξωδόμετρο) (Fuel oil endheater).
9. Θερμαινόμενο φίλτρο [Fuel oil filter, heated (trace heating acceptable)].
10. Είσοδος καυσίμου στο εσωτερικό κύκλωμα (Fuel oil inlet).
11. Αντλία εγχύσεως υψηλής πιέσεως (Fuel injection pump).
12. Βαλβίδα στραγγαλισμού (Pressure retaining valve).
13. Έξοδος καυσίμου από το εσωτερικό κύκλωμα (Fuel oil outlet).
14. Διαρροές καυσίμου από την αντλία εγχύσεως (Fuel oil leakage from fuel pump).

(σύμβολο)	Αγωγοί HFO θερμαινόμενοι και μονωμένοι (HFO pipes, heated and insulated).
—·—·—	Αγωγοί MDO (MDO pipes).
—··—··	Αγωγοί εξυδατώσεως και υπερχειλίσεως (Drain and overflow pipes).
PI	Μετρητής πιέσεως.
DI	Μετρητής διαφορικής πιέσεως.
DAH	Συναγερμός υψηλής διαφοράς πιέσεως (Differential pressure alarm high).
VAH	Συναγερμός υψηλού ιξώδους.
F	Ροόμετρο (Flowmeter).
V	Ιξωδόμετρο (Viscosimeter).

Σχ. 3.5γ.

Τελικό τμήμα του εξωτερικού δικτύου βαρέος πετρελαίου (συνέχεια του σχήματος 3.5β).

του από τη δεξαμενή απαερώσεως. Μετά τις αντλίες τοποθετείται ο ***τελικός προθερμαντήρας***, που φροντίζει να θερμαίνει το καύσιμο σε θερμοκρασία κατάλληλη, έτσι ώστε το ιξώδες του να μην υπερβαίνει το προκαθορισμένο όριο.

Ακολουθεί διπλό (αυτοκαθαριζόμενο) ***φίλτρο*** και ένα όργανο μετρήσεως του ιξώδους (***ιξωδόμετρο***). Αυτό ελέγχει τη θερμοκρασία εξόδου από τον τελικό προθερμαντήρα για την ακριβή ρύθμιση του ιξώδους του καυσίμου, αυξομειώνοντας την παροχή ατμού μέσα από τον προθερμαντήρα. Πριν και μετά τον τελικό προθερμαντήρα παρεμβάλλονται αναγκαστικά τα όργανα μετρήσεως της θερμοκρασίας, καθώς και ***θερμοστάτης*** για την περίπτωση βλάβης του ιξωδομέτρου (ώστε να μην πέσει ποτέ η θερμοκρασία κάτω από συγκεκριμένο όριο).

Όλοι οι αγωγοί, από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως μέχρι τους κινητήρες, είναι μονωμένοι για να μειώνονται οι απώλειες θερμότητας και να διατηρείται υψηλή η θερμοκρασία του καυσίμου.

Πάνω στον κινητήρα ξεκινά το εσωτερικό δίκτυο καυσίμου και το καύσιμο παραλαμβάνεται από τις αντλίες καυσίμου υψηλής πιέσεως οι οποίες το οδηγούν στους αντίστοιχους εγχυτήρες.

Κεφάλαιο Τέταρτο



ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

4.1 Θερμοδυναμικές έννοιες.

4.1.1 Γενικά.

Πριν αναπτυχθούν οι σχέσεις που αφορούν στη μοντελοποίηση της λειτουργίας των ΜΕΚ θα γίνει μία περιληπτική ανάπτυξη βασικών θερμοδυναμικών εννοιών, η οποία κρίνεται απαραίτητη για την πληρέστερη ανάπτυξη του θέματος.

Θερμοδυναμικό σύστημα είναι μία διάταξη ή συνδυασμός διατάξεων, που περιέχει την υπό μελέτη ποσότητα μάζας. Ουσιαστικά, είναι ένα υλικό τμήμα του σύμπαντος, το οποίο μπορεί να εξεταστεί χωριστά από το περιβάλλον του.

Για να περιγραφεί με ακρίβεια το θερμοδυναμικό σύστημα, χρησιμοποιείται ο όγκος ελέγχου, ο οποίος, μέσω του ορίου του (της διαχωριστικής επιφάνειας) διαχωρίζει το σύστημα από τον υπόλοιπο κόσμο. Ο όγκος ελέγχου περιλαμβάνει την υπό εξέταση μάζα και τις διατάξεις που περιβάλλουν τη μάζα. Κάθε τι εκτός του όγκου ελέγχου ανήκει στο εξωτερικό περιβάλλον.

Ανάλογα με το βαθμό συναλλαγής του συστήματος με το περιβάλλον του (και με αυξανόμενο βαθμό απομονώσεως) κάθε θερμοδυναμικό σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

- ***Κλειστό σύστημα***, στο οποίο δεν είναι δυνατή οποιαδήποτε συναλλαγή μάζας με το περιβάλλον, μέσω των ορίων του.
- ***Ανοικτό σύστημα***, αντίθετα, είναι αυτό που επιτρέπει τη συναλλαγή μάζας με το περιβάλλον μέσω των ορίων του.
- ***Μηχανικώς κλειστό*** είναι το σύστημα, στο οποίο δεν γίνεται συναλλαγή έργου με το περιβάλλον του.
- ***Αδιαβατικό σύστημα*** είναι εκείνο, στο οποίο δεν γίνεται συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον.
- ***Μονωμένο*** είναι το σύστημα, στο οποίο δεν γίνεται συναλλαγή μάζας, μηχανικού έργου ή θερμότητας με το περιβάλλον.

Ένα σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία ή περισσότερες φάσεις. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που περιέχει ένα αέριο, αποτελεί σύστημα μίας φάσεως, ενώ ένα σύστημα που περικλείει νερό και υδρατμό, είναι σύστημα δύο φάσεων. Επίσης, ένα σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μία ή περισσότερες συνιστώσες. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που περιέχει νερό και υδρατμό, περιλαμβάνει μία συνιστώσα και δύο φάσεις. Αν συνυπάρχουν ταυτόχρονα, δύο ή περισσότερες φάσεις (π.χ. νερό και πάγος), οι διαφορετικές φάσεις διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω των ορίων των φάσεων.

Σε κάθε διαφορετική φάση το σώμα μπορεί να έχει σε διαφορετικά του σημεία διαφορετική θερμοκρασία ή πίεση, δηλαδή να βρίσκεται σε διαφορετική ***θερμοδυναμική κατάσταση***. Η κατάσταση του σώματος μπορεί να περιγραφεί με συγκεκριμένες μακροσκοπικές μεταβλητές, όπως τη θερμοκρασία, την πίεση και την πυκνότητα. Οι μεταβλητές αυτές χαρακτηρίζουν την κατάσταση και έχουν την ίδια πάντα τιμή στην ίδια κατάσταση, ανεξάρτητα με τον τρόπο που επιτεύχθηκε η κατάσταση αυτή. Οι εν λόγω μεταβλητές καλούνται ***καταστατικά μεγέθη***.

Έτσι, ως ***καταστατικό μέγεθος*** μπορεί να ορισθεί ***κάθε μεταβλητή, η οποία εξαρτάται μόνο από την κατάσταση του σώματος και είναι ανεξάρτητη του τρόπου, με τον οποίο έχει επιτευχθεί η συγκεκριμένη θερμοδυναμική κατάσταση.***

Τα καταστατικά μεγέθη διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα ***εντατικά*** και τα ***εκτατικά μεγέθη***. Στα εντατικά μεγέθη η τιμή τους δεν εξαρτάται από το μέγεθος –τη μάζα– του σώματος, σε αντίθεση με τα εκτατικά μεγέθη, των οποίων η τιμή εξαρτάται από το μέγεθος του σώματος. Η πίεση, η θερμοκρασία

και η πυκνότητα είναι παραδείγματα εντατικών μεγεθών, ενώ η μάζα και ο όγκος είναι παραδείγματα εκτατικών μεγεθών. Έτσι, αν μια ποσότητα αερίου, που περικλείεται σε ένα δοχείο, χωριστεί στη μέση με ένα διάφραγμα, τα εντατικά μεγέθη στα δύο ανεξάρτητα τμήματα δεν θα μεταβληθούν, θα μεταβληθούν όμως τα εκτατικά μεγέθη σε κάθε τμήμα (τόσο ο όγκος, όσο και η μάζα θα υποδιπλασιαστούν).

Εκτατικά μεγέθη, διαιρεμένα με τη μάζα του σώματος δίνουν τα ***ειδικά μεγέθη***, όπως ο ειδικός όγκος, ο οποίος είναι ο λόγος του όγκου διά της μάζας του σώματος. ***Τα ειδικά μεγέθη είναι εντατικά μεγέθη***. Τα εκτατικά μεγέθη συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα, ενώ τα ειδικά μεγέθη με μικρά. Για παράδειγμα, ο όγκος του σώματος συμβολίζεται με το V ενώ ο ειδικός όγκος με το v και ορίζεται ως:

$$v = \frac{V}{m}$$

όπου m η μάζα του σώματος.

Πολλές φορές αναφερόμαστε όχι σε καταστατικά μεγέθη του σώματος αλλά σε καταστατικά μεγέθη του συστήματος. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει η τιμή του καταστατικού μεγέθους να ισχύει για όλο το σύστημα. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει την επίτευξη ***θερμοδυναμικής ισορροπίας. Ένα σύστημα βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία, όταν βρίσκεται ταυτόχρονα σε θερμική, μηχανική και χημική ισορροπία.***

Θερμική ισορροπία έχει ένα σύστημα, όταν σε κάθε σημείο του η θερμοκρασία είναι η ίδια. Τότε, μπορούμε να μιλάμε για τη θερμοκρασία ως καταστατικό μέγεθος του συστήματος.

Η ***μηχανική ισορροπία*** σχετίζεται με την πίεση, κι όταν συμβαίνει, το σύστημα δεν εμφανίζει καμία τάση για μεταβολή της πιέσεως με το χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο του, όσο το σύστημα είναι μονωμένο από το περιβάλλον του. Βέβαια, θα υπάρχει πάντα μια μεταβολή της πιέσεως με το ύψος (υδροστατική πίεση λόγω της βαρύτητας), η οποία όπως στις περισσότερες περιπτώσεις θερμοδυναμικών συστημάτων είναι μικρή και μπορεί να αμεληθεί.

Η ***χημική ισορροπία*** επιτυγχάνεται, όταν όλες οι δυνατές χημικές αντιδράσεις των συνιστωσών του συστήματος έχουν περατωθεί.

Μεταβολή στη θερμοδυναμική κατάσταση ενός συστήματος συμβαίνει, όταν μεταβληθεί η τιμή ενός ή περισσοτέρων καταστατικών μεγεθών του συστήματος.

Η αλληλουχία των καταστάσεων που λαμβάνει το σύστημα, ονομάζεται θερμοδυναμική μεταβολή ή θερμοδυναμική διεργασία.

Το γεγονός ότι τα καταστατικά μεγέθη περιγράφουν την κατάσταση ενός συστήματος σε ισορροπία, προκαλεί το ερώτημα, πώς θα περιγραφούν οι διαδοχικές καταστάσεις του συστήματος κατά τη θερμοδυναμική μεταβολή. Για το λόγο αυτό υιοθετείται ένας ιδεατός τύπος θερμοδυναμικής μεταβολής, κατά την οποία οι διαδοχικές απομακρύνσεις από την κατάσταση ισορροπίας είναι απειροστές και το σύστημα, κατά τη διάρκεια της μεταβολής, περνά από διαδοχικές θέσεις θερμοδυναμικής ισορροπίας. Η μεταβολή αυτή ονομάζεται ***οιωνεί στατική μεταβολή*** (ή ***οιωνεί στατική διεργασία***). Στην περίπτωση μιας απότομης μεταβολής μπορούμε να περιγράψομε μόνο την αρχή της μεταβολής (που ξεκινάει από θερμοδυναμική ισορροπία) και το τέλος της, όταν θα έχει επιτευχθεί η ισορροπία, ***χωρίς να μπορούμε να περιγράψομε τα ενδιάμεσα βήματα.***

Ορισμένες θερμοδυναμικές μεταβολές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι κάποιο καταστατικό μέγεθος διατηρείται σταθερό κατά τη διάρκεια της μεταβολής. Τέτοιες μεταβολές είναι η ***ισοθερμοκρασιακή*** μεταβολή (όταν διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία), η ***ισοβαρής*** (ή ***ισόθλιπτη***) μεταβολή (όταν διατηρείται σταθερή η πίεση) και η ***ισόογκη*** μεταβολή (με τη διατήρηση σταθερού όγκου).

Ο ***θερμοδυναμικός κύκλος*** αναφέρεται σε θερμοδυναμική μεταβολή, η οποία μετά από διαφορετικές ενδιάμεσες καταστάσεις, καταλήγει στην αρχική κατάσταση. Συνεπώς, στην τελική κατάσταση, τα καταστατικά μεγέθη έχουν τις ίδιες τιμές με αυτές της αρχικής καταστάσεως. Το ψυκτικό υγρό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα ψύξεως του ψυγείου εκτελεί ένα θερμοδυναμικό κύκλο. Το νερό (που μετατρέπεται σε υδρατμό) στο κύκλωμα ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού εκτελεί ένα θερμοδυναμικό κύκλο. Στην περίπτωση ενός κινητήρα εσωτερικής καύσεως, έχομε ένα ***μηχανικό κύκλο*** αλλά ***δεν έχομε θερμοδυναμικό κύκλο,*** γιατί το εργαζόμενο μέσο δεν είναι το ίδιο σε όλες τις φάσεις της μεταβολής, καθώς το καύσιμο με τον εισαγόμενο αέρα δημιουργούν τα καυσαέρια, που εκλύονται στην ατμόσφαιρα.

4.1.2 Θερμοδυναμικά μεγέθη.

Η ***ενέργεια*** είναι από τα σημαντικότερα μεγέθη της θερμοδυναμικής. Η θερμοδυναμική ως επιστήμη ασχολείται, κατά βάση, με την ενέργεια και τις μετατροπές της. Παρά την κυρίαρχη σημασία που

έχει η ενέργεια στη θερμοδυναμική, είναι πολύ δύσκολο να ορισθεί. Η συνεχής όμως χρήση της στις καθημερινές εφαρμογές και η εξοικείωση που έχομε με τον όρο μας επιτρέπουν να παρακάμψομε προς το παρόν τον ακριβή επιστημονικό ορισμό της ενέργειας. Μπορούμε όμως, να πούμε ότι ***ενέργεια είναι η ικανότητα να παραχθεί ένα αποτέλεσμα.*** Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευθεί, να μετασχηματισθεί από μία μορφή σε άλλη και να μεταφερθεί από ένα σύστημα σε ένα άλλο. Για παράδειγμα, η θερμότητα –η οποία είναι μια μορφή ενέργειας– μπορεί να μεταφερθεί από ένα σώμα με υψηλότερη θερμοκρασία σ' ένα άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία.

Η ***πίεση*** σ' ένα σημείο ενός ρευστού που ηρεμεί, είναι ίδια προς όλες τις διευθύνσεις. ***Η πίεση ορίζεται ως ο λόγος της κάθετης σε μια επιφάνεια δυνάμεως διά του εμβαδού της επιφάνειας.*** Ειδικότερα, για να προσδιοριστεί η πίεση σε ένα ορισμένο σημείο, θεωρούμε την μικρότερη επιφάνεια δΑ΄, στην περιοχή της οποίας το ρευστό μπορεί να θεωρηθεί ως συνεχές μέσο. Η πίεση p μπορεί να ορισθεί ως το όριο:

$$p = \lim_{\delta A \to \delta A'} (\delta F_n / \delta A)$$

Η μονάδα μετρήσεως της πιέσεως στο σύστημα S.I. είναι το pascal (Pa), που ορίζεται ως η δύναμη ενός newton, εφαρμοζόμενη κάθετα σε επιφάνεια εμβαδού ενός τετραγωνικού μέτρου. Δηλαδή:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

Επειδή το Pa είναι πολύ μικρή μονάδα, συνήθως χρησιμοποιούνται τα πολλαπλάσια kPa και MPa. Η άλλη μονάδα που χρησιμοποιείται συχνά, αν και δεν ανήκει στο σύστημα S.I., είναι το bar, το οποίο δίδεται:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Το bar συνδέεται με τις υπόλοιπες χρησιμοποιούμενες μονάδες με τη βοήθεια της σχέσεως:

$$1 \text{ bar} = 0{,}1 \text{ N/mm}^2 = 0{,}010197 \text{ kp/mm}^2 = 1{,}0197 \text{ at} = 10197 \text{ kp/m}^2 = 750{,}06 \text{ Torr} = 0{,}9869 \text{ atm} = 14{,}5037 \text{ lbf/in}^2 = 2088{,}6 \text{ lbf/ft}^2$$

Ο όρος ***θερμοκρασία*** είναι αρκετά κοινός στην καθημερινή μας ζωή. Το ανθρώπινο σώμα, μέσω των καταλλήλων αισθητηρίων, έχει την ικανότητα να διακρίνει τα αντικείμενα, με τα οποία έρχεται σε επαφή, σε θερμότερα ή ψυχρότερα. Επίσης, από την καθημερινή πρακτική γνωρίζομε ότι δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία, όταν έρθουν σε επαφή για ικανό χρονικό διάστημα, φαίνονται ότι εμφανίζουν ίσες θερμοκρασίες. Τα αισθητήρια όργανα του ανθρώπινου σώματος δεν μπορούν ουσιαστικά να μετρήσουν τη θερμοκρασία. Στην πραγματικότητα, αισθάνονται την ένταση της ροής της θερμότητας από το αντικείμενο προς το σώμα ή το αντίστροφο. Έτσι, στην περίπτωση που έχομε δύο αντικείμενα ίσης θερμοκρασίας (χαμηλότερης του σώματος) από ξύλο και μέταλλο, το μεταλλικό αντικείμενο θα μας φανεί πιο ψυχρό, διότι η ένταση της ροής της θερμότητας από το σώμα προς αυτό είναι μεγαλύτερη.

Το προηγούμενο παράδειγμα δείχνει τη δυσκολία που υπάρχει ως προς τον ορισμό της θερμοκρασίας με βάση τις παρατηρήσεις μας. Ο αυστηρός ορισμός της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μόνο με βάση αξιώματα της θερμοδυναμικής. Ο ορισμός αυτός δεν περιγράφει τη φύση της θερμοκρασίας, αλλά καθορίζει τον ακριβή τρόπο μετρήσεως και συγκρίσεως των θερμοκρασιών διαφόρων σωμάτων ή συστημάτων.

4.1.3 Ο μηδενικός νόμος της θερμοδυναμικής.

Η επιστήμη της θερμοδυναμικής στηρίζεται σε τέσσερεις νόμους ή αξιώματα. Ο τέταρτος νόμος αν και διατυπώθηκε χρονολογικά τελευταίος, προηγείται εννοιολογικά των τριών άλλων. Για το λόγο αυτό καλείται ***μηδενικός θερμοδυναμικός νόμος***. Ο μηδενικός θερμοδυναμικός νόμος είναι η βάση για τον επιστημονικό ορισμό της έννοιας της θερμοκρασίας και για τη μονοσήμαντη μέτρηση των θερμοκρασιών. Επειδή υπάρχουν δυσκολίες στον ορισμό της ίδιας της θερμοκρασίας, θα προσδιορισθεί η ισότητα θερμοκρασιών.

Δύο σώματα έχουν ίδια θερμοκρασία, όταν, ενώ έρχονται σε επαφή, δεν παρατηρείται καμιά μεταβολή σε μετρήσιμες μεταβλητές τους. Τότε τα δύο σώματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία. Ο μηδενικός θερμοδυναμικός νόμος ορίζει τα ακόλουθα:

Δύο συστήματα, τα οποία βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με τρίτο σύστημα, βρίσκονται σε θερμική ισορροπία και μεταξύ τους.

Με τον παραπάνω νόμο είναι δυνατόν να ελεγχθούν δύο συστήματα, για το κατά πόσο βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, με τη χρήση ενός θερμομέτρου, δηλαδή ενός τρίτου συστήματος, χωρίς να απαιτείται να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποι-

είται η κλίμακα Celsius (°C) και η αντίστοιχη απόλυτη κλίμακα θερμοκρασιών Kelvin (K), που συνδέονται με τη σχέση:

$$T\ (K) = 273{,}15^{o}\ C + t(^{o}C)$$

Χρησιμοποιείται επίσης η κλίμακα Fahrenheit (°F), με την αντίστοιχη απόλυτη κλίμακα Rankine (R), για τις οποίες ισχύει:

$$t_F = 1{,}8\ t_C + 32^{o}C$$
$$T_R = 459{,}67^{o}F + t_F$$

Οι κλίμακες Celsius και Fahrenheit δημιουργήθηκαν με τον ***αυθαίρετο*** χαρακτηρισμό συγκεκριμένων σταθερών θερμοκρασιακών σημείων (σημείο ισορροπίας νερού - πάγου υπό σταθερή πίεση 760 mmHg ίσο με 0 °C ή 32 °F, σημείο ισορροπίας νερού ατμού υπό σταθερή πίεση 760 mmHg ίσο με 100 °C ή 212 °F). Για το λόγο αυτό καλούνται ***εμπειρικές κλίμακες θερμοκρασιών***. Οι αντίστοιχες απόλυτες κλίμακες ορίζονται με βάση το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο.

4.1.4 Η καταστατική εξίσωση.

Από θερμοδυναμική άποψη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το θερμοδυναμικό σύστημα που αποτελείται από ένα μόνο συστατικό. Το σύστημα αυτό το ονομάζομε ***καθαρή ουσία***. Πιο συγκεκριμένα καθαρή ουσία είναι το σύστημα, το οποίο έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

– Είναι ομοιογενές σε σύσταση.
– Είναι χημικά ομοιογενές.
– Είναι χημικά αμετάβλητο.

Η πρώτη ιδιότητα σημαίνει ότι η σύσταση του συστήματος είναι η ίδια σε όλη την έκτασή του, με ίδιες αναλογίες χημικών στοιχείων. Η δεύτερη ιδιότητα σημαίνει ότι τα χημικά στοιχεία που απαρτίζουν τη σύσταση, είναι συνδυασμένα χημικά με τον ίδιο τρόπο σε όλη την έκταση του συστήματος. Η τρίτη ιδιότητα σημαίνει τη χρονικά αμετάβλητη κατάσταση του συστήματος.

Με τον όρο αέριο χαρακτηρίζομε την καθαρή ουσία που βρίσκεται σε αέρια φάση αλλά απέχει αισθητά από την υγρή φάση. Αυτό σημαίνει ότι σε σημαντικές αλλαγές των καταστατικών μεγεθών δεν υπόκειται σε αλλαγή φάσεως. Αντίθετα, ως ατμός χαρακτηρίζεται η κατάσταση, όπου η εξάτμιση της υγρής φάσεως δεν έχει ολοκληρωθεί ενδεχομένως, πλήρως και μπορεί να έχομε συνύπαρξη των δύο φάσεων. ***Χρειάζεται προσοχή όσον αφορά στους ατμούς επειδή γι' αυτούς δεν ισχύουν οι νόμοι των τελείων αερίων. Κατά τη φάση κάποιας θερμοδυναμικής διεργασίας μπορεί να έχομε υγροποίηση τμήματός τους.***

Ας θεωρήσομε την περίπτωση ενός δοχείου με υγρό, το οποίο έχει στο πάνω τμήμα του ένα έμβολο συγκεκριμένου βάρους με δυνατότητα κινήσεως. Με την πρόσδοση θερμότητας στο υγρό μεταβάλλεται ελάχιστα η πυκνότητα του υγρού (και ο ειδικός όγκος, που είναι το αντίστροφο της πυκνότητας) ενώ η πίεση είναι σταθερή λόγω του βάρους του εμβόλου. Συνεχίζοντας να δίνομε θερμότητα, έχομε αλλαγή φάσεως από υγρό σε αέριο, ενώ κατά τη διάρκεια αυτής της αλλαγής η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Προφανώς, κατά τη διάρκεια αυτής της μεταβολής έχομε σημαντική αύξηση του ειδικού όγκου (μείωση της πυκνότητας). Όταν και η τελευταία σταγόνα μετατραπεί σε ατμό, τότε η επιπλέον θερμότητα που δίνομε, έχει ως αποτέλεσμα την παραπέρα αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού. Η προσφερόμενη ***ενέργεια ανά μονάδα μάζας*** κατά τη διάρκεια της ισόθλιπτης αυτής διεργασίας, που χρησιμεύει για τη μετατροπή της υγρής φάσεως σε αέρια, ονομάζεται ***λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεως***.

Ο ατμός στην κατάσταση που έχει φτάσει στην πλήρη εξάτμιση (δεν υπάρχει καθόλου υγρή φάση, ούτε με τη μορφή σταγονιδίων) ***ονομάζεται ξηρός κεκορεσμένος ατμός***. Ενώ συνεχίζεται η πρόσδοση θερμότητας, ο ατμός γίνεται ***υπέρθερμος***. Κατά προσέγγιση, ο υπέρθερμος ατμός συμπεριφέρεται ως αέριο.

Ο λόγος, για τον οποίο έχει εισαχθεί η έννοια της καθαρής ουσίας είναι το γεγονός ότι για αυτήν την απλή περίπτωση (με απουσία κινήσεως, βαρυτικής επιδράσεως, επιφανειακής τάσεως και ηλεκτρομαγνητικών ή άλλων δυνάμεων) αρκούν δύο μεγέθη για να περιγραφεί η κατάσταση του συστήματος. Από την παρατήρηση και το πείραμα έχει προκύψει ότι για κάθε καθαρή ουσία, σε οποιαδήποτε φάση και αν βρίσκεται, υπάρχει μία μαθηματική σχέση που συνδέει την πίεση, τη θερμοκρασία και τον όγκο. Αυτό σημαίνει ότι αυτά τα μεγέθη δεν είναι ανεξάρτητα. Τα παραπάνω τρία μεγέθη ονομάζονται ***θεμελιώδεις θερμοδυναμικές ιδιότητες***, ενώ τα συστήματα αυτά καλούνται και ***συστήματα pVT***. Η σχέση που συνδέει τα τρία αυτά θερμοδυναμικά μεγέθη ονομάζεται ***καταστατική εξίσωση*** της συγκεκριμένης ουσίας. Η καταστατική εξίσωση αναφέρεται σε ***καταστάσεις ισορροπίας,*** που αποτελούν και προϋπόθεση για την ισχύ της. Συνήθως, δεν είναι γνωστή η αναλυτική μαθηματική σχέση

που συνδέει τα τρία αυτά μεγέθη. Είναι βέβαια μία σχέση της μορφής:

$$f(p, V, T) = 0$$

Τα μεγέθη p, V, T αποτελούν τα καταστατικά μεγέθη του συστήματος και είναι συναρτήσεις ***μονότιμες*** και ***συνεχείς***, ενώ αποτελούν ***τέλεια διαφορικά***. Η τιμή τους δηλαδή, εξαρτάται από την κατάσταση και όχι από τη διαδρομή που έχει ακολουθηθεί (***αυτό άλλωστε αποτελεί και απαίτηση για το χαρακτηρισμό ενός μεγέθους ως καταστατικού***).

Για ένα τέλειο αέριο η καταστατική εξίσωση δίδεται:

$$pV = n\underline{R}T$$

όπου $\underline{R}$ η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,3145 J/(mole K). Η καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων γράφεται και με τη μορφή:

$$pv = RT \qquad \text{ή} \qquad pV = mRT$$

όπου $R = \underline{R}/M$ η σταθερά του συγκεκριμένου αερίου, η τιμή της οποίας μεταβάλλεται από αέριο, σε αέριο, v ο ειδικός όγκος (v=V/m) και M το μοριακό βάρος του αερίου. Προφανώς, η καταστατική εξίσωση του τελείου αερίου μπορεί να γραφεί και με τη μορφή:

$$p_1V_1/T_1 = p_2V_2/T_2$$

για οποιεσδήποτε δύο καταστάσεις 1 και 2. Η παραπάνω σχέση είναι η έκφραση των «νόμων» των ***Boyle*** και ***Charles***. Οι παραπάνω «νόμοι» έχουν ισχύ μόνο προσεγγιστικά για τα πραγματικά αέρια, ενώ η ακρίβειά τους αυξάνεται, καθώς πλησιάζομε τη μηδενική πίεση. Κατά τους υπολογισμούς με τη χρήση της καταστατικής εξισώσεως των τελείων αερίων πρέπει να χρησιμοποιείται η ***απόλυτη κλίμακα θερμοκρασιών*** (η θερμοκρασία σε K).

4.1.5 Ειδικές περιπτώσεις θερμοδυναμικών μεταβολών.

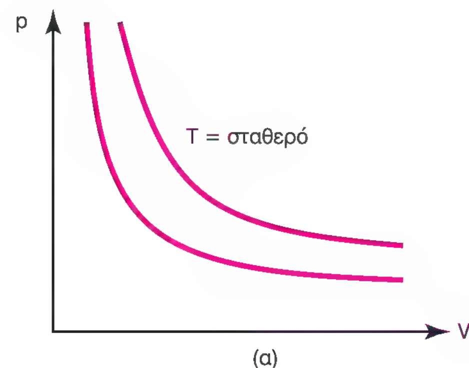
Εάν είναι γνωστή η καταστατική εξίσωση ενός αερίου ή ατμού, οποιαδήποτε θερμοδυναμική κατάσταση (ή οιονεί στατική μεταβολή) μπορεί να παρασταθεί σε διάγραμμα p-V. Στην περίπτωση της διατηρήσεως σταθερής θερμοκρασίας, από την καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων θα ισχύει:

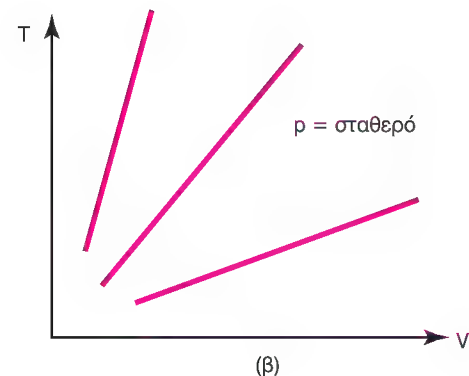
$$pV = \text{σταθερό} = C \Rightarrow p = C/V$$

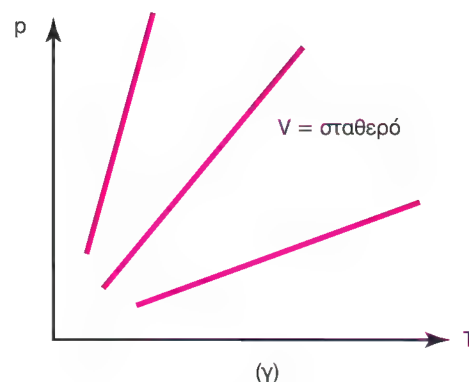
Η παραπάνω σχέση στο επίπεδο p-V εκφράζει μία ***καμπύλη υπερβολής***, όπου η σταθερά C εξαρτάται από την τιμή της θερμοκρασίας. Συνεπώς, για διαφορετικές τιμές της C έχομε διάφορες ισοθερμοκρασιακές καμπύλες του τελείου αερίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1α. Όσο αυξάνεται η τιμή της θερμοκρασίας (και της σταθεράς C), τόσο απομακρύνεται η καμπύλη από την αρχή των αξόνων. Η ισοθερμοκρασιακή μεταβολή των τελείων αερίων είναι γνωστή και ως «νόμος» ***Boyle - Mariotte***.

Αν διατηρηθεί η πίεση σταθερή, τότε από τη σχέση των τελείων αερίων προκύπτει:

$$pV = C'T \Rightarrow V = CT$$







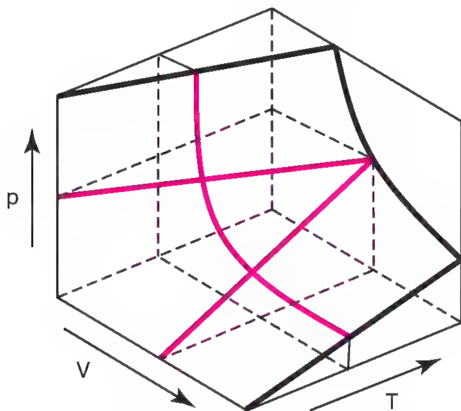
Σχ. 4.1α.
α) Ισοθερμοκρασιακή, β) ισόθλιπτη και γ) ισόογκη μεταβολή τελείου αερίου.

Δηλαδή ο όγκος είναι ανάλογος της θερμοκρασίας (αυξάνεται γραμμικά με τη θερμοκρασία). Σε διάγραμμα V-T η παραπάνω σχέση (ισόθλιπτη μεταβολή) παριστάνεται με ***ευθεία γραμμή***. Για διαφορετικές τιμές της πιέσεως αλλάζει η σταθερά της αναλογίας C, οπότε αλλάζει η κλίση της ευθείας (σχ. 4.1α).

Αν διατηρηθεί ο όγκος σταθερός (ισόογκη ή ισόχωρη μεταβολή), η καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων γίνεται:

$$pV = C'T \Rightarrow p = CT$$

Δηλαδή, υπάρχει επίσης γραμμική σχέση μεταξύ της πιέσεως και της θερμοκρασίας, όταν ο όγκος παραμένει σταθερός (για τέλεια αέρια). Έτσι σε επίπεδο p-T η παραπάνω σχέση είναι μία ευθεία γραμμή (σχ. 4.1α), ενώ για διαφορετικές τιμές του όγκου V έχομε διαφορετικές ευθείες με αντίστοιχη κλίση (ισόχωρες ευθείες). Η προηγούμενη σχέση είναι ο γνωστός «νόμος» των ***Charles*** και ***Gay-Lussac***. Η καταστατική εξίσωση περιγράφεται με μια τρισδιάστατη επιφάνεια σε διάγραμμα p-V-T. Ειδικά, για το τέλειο αέριο απεικονίζεται στο σχήμα 4.1β.



Σχ. 4.1β.
Η καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων υπό μορφή τρισδιάστατης επιφάνειας.

4.1.6 Το έργο.

Το έργο μίας δυνάμεως F που μετακινεί το σημείο εφαρμογής της ***κατά τη διεύθυνσή της*** κατά διάστημα x, ορίζεται:

$$W = \int F dx$$

Στη θερμοδυναμική έχομε επίσης παραγωγή έργου από τη μετακίνηση του σημείου εφαρμογής μίας δυνάμεως. Έτσι, τα καυσαέρια εντός του κυλίνδρου σε μηχανή εσωτερικής καύσεως ωθούν το έμβολο παράγοντας έργο. Ο υδρατμός που τροφοδοτεί έναν ατμοστρόβιλο, τον περιστρέφει και παράγει έργο. Τέλος, δίνομε έργο στον άξονα ενός αεροσυμπιεστή, που συμπιέζει τον αέρα εντός αεροφυλακίου. Μπορούμε να βρούμε διάφορες ετερόκλιτες μορφές παραγωγής έργου στη θερμοδυναμική. Όλες αυτές οι μορφές μπορούν να καλυφθούν με τον ακόλουθο ορισμό του έργου στη θερμοδυναμική:

Ένα θερμοδυναμικό σύστημα παράγει έργο, εάν η μοναδική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του είναι η (ή μπορεί να αναχθεί σε) ανύψωση ενός βάρους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο παραπάνω ορισμός δεν αναφέρει ότι το βάρος όντως ανυψώνεται, αλλά σημειώνει ότι το μοναδικό αποτέλεσμα στο περιβάλλον θα μπορούσε να αναχθεί στην ανύψωση ενός βάρους. Για παράδειγμα, το έμβολο της ΜΕΚ που εκτονώνεται συνδεδεμένο με σύστημα μοχλών, θα μπορούσε να ανυψώσει ένα βάρος.

Το έργο W θεωρείται θετικό, όταν αποδίδεται από το σύστημα στο περιβάλλον, ενώ αντίθετα, θεωρείται αρνητικό, όταν δίδεται στο σύστημα.

Το έργο είναι μία μορφή ενέργειας, που εμφανίζεται κατά την αλληλεπίδραση του εν λόγω θερμοδυναμικού συστήματος με το περιβάλλον του. Από τον ορισμό του έργου ως γινόμενο δυνάμεως επί μετατόπιση προκύπτει η μονάδα μετρήσεώς του στο S.I., η οποία ονομάζεται joule (J) και προφανώς, δίδεται:

$$1\ J = 1\ N\ m$$

Αντίστοιχα, ορίζεται ως ειδικό το έργο ανά μονάδα μάζας του συστήματος, δηλαδή:

$$w = W / m$$

Ως ισχύς ορίζεται ο ρυθμός παραγωγής έργου, δηλαδή η πρώτη παράγωγος του έργου ως προς το χρόνο. Πιο απλά, ισχύς είναι το παραγόμενο έργο στη μονάδα του χρόνου.

Η ισχύς συμβολίζεται με $\dot{W}$ και δίδεται:

$$\dot{W} = \frac{\delta W}{dt}$$

Ο διαφορετικός συμβολισμός του διαφορικού του έργου από το διαφορικό του χρόνου έχει να κάνει με τη φύση του έργου και θα συζητηθεί διεξοδικά στη συνέχεια. Μονάδα ισχύος στο S.I. είναι το watt (W), το οποίο δίδεται:

$$1\ W = 1\ J / s$$

Εκτός από το watt χρησιμοποιούνται και άλλες

μονάδες μετρήσεως της ισχύος (οι οποίες δεν ανήκουν στο S.I. και καλό είναι να αποφεύγονται), όπως ο μετρικός ίππος (PS), ο αγγλικός ίππος (hp), το kp m/s και το ft lbf/s, οι οποίες συνδέονται με το watt με τη σχέση:

$$1 \text{ W} = 0{,}10197 \text{ kp m/s} = 1{,}3596 \times 10^{-3} \text{ PS} = 1{,}341 \times 10^{-3} \text{ hp} = 0{,}737561 \text{ ft lbf/s}$$

Ας θεωρήσομε την περίπτωση ενός κυλίνδρου, ο οποίος κλείνει με κινούμενο έμβολο, το εμβαδόν του οποίου είναι Α. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου περιέχεται αέριο, το οποίο αποτελεί και το θερμοδυναμικό μας σύστημα. Έστω ότι η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου ισούται με p. Τότε για να ισορροπεί το έμβολο, πρέπει να ασκείται εξωτερικά δύναμη F ίση με:

$$F = pA$$

Αν μειώσομε την εξωτερική δύναμη κατά απειροστό μέγεθος dF, τότε προφανώς λόγω της μεγαλύτερης εσωτερικής πιέσεως το έμβολο θα μετακινηθεί προς τα έξω κατά απειροστό μήκος dL, μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία μεταξύ της εσωτερικής πιέσεως (η οποία θα έχει μειωθεί κατά dp) και της εξωτερικής δυνάμεως. Οι μεταβολές θεωρούμε ότι γίνονται αρκετά αργά, ώστε να θεωρήσομε ότι έχομε οιονεί στατική διεργασία. Τότε το απειροστό έργο που παράγεται από το σύστημα, δίδεται ως:

$$\delta W = pAdL$$

Όμως, το γινόμενο A dL αναφέρεται στην απειροστή μεταβολή του όγκου του συστήματος κατά dV. Συνεπώς, θα έχομε:

$$\delta W = pdV$$

Το παραπάνω έργο ονομάζεται ***έργο μετατοπίσεως***, λόγω της μετατοπίσεως του σημείου εφαρμογής της δρώσας δυνάμεως που το παράγει. Επειδή συνδέεται με τη μεταβολή του όγκου του κλειστού συστήματος, ονομάζεται και ***έργο ογκομεταβολής***. Το αντίστοιχο ειδικό έργο (ανά μονάδα μάζας) θα δίδεται:

$$\delta w = pdv$$

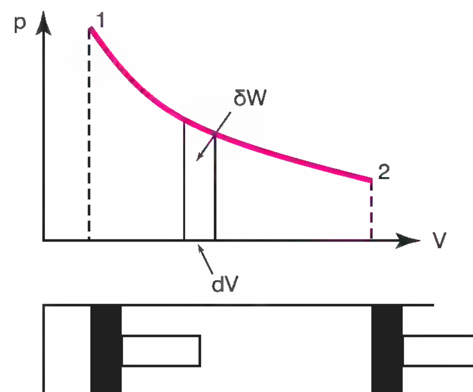
Αν το υπό μελέτη κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα εκτελεί μία δεδομένη οιονεί στατική διεργασία, τότε το συνολικό έργο θα προκύψει από την ολοκλήρωση των προηγουμένων σχέσεων, αρκεί να γνωρίζομε σε κάθε θέση τη σχέση μεταξύ της πιέσεως p και του όγκου V του συστήματος, με τη μορφή εξισώσεως ή γραφήματος.

Αν ονομάσομε 1 και 2 την αρχική και τελική θέση (κατάσταση) του συστήματος, τότε το συνολικό έργο θα δίνεται:

$$W_{12} = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 pdV$$

Το σύμβολο W_{12} αναφέρεται στο έργο που παράγεται από το σύστημα κατά τη συγκεκριμένη διαδρομή από την κατάσταση 1 στην κατάσταση 2 μέσα από μία οιονεί στατική διεργασία. Στο σχήμα 4.1γ απεικονίζεται μία τέτοια μεταβολή σε διάγραμμα p-V. Θεωρούμε ότι η μεταβολή αυτή γίνεται τόσο αργά, ώστε να θεωρηθεί ως οιονεί στατική μεταβολή. Η κατάσταση του συστήματος στην αρχική θέση του εμβόλου απεικονίζεται από το σημείο 1 στο διάγραμμα p-V, ενώ η τελική του κατάσταση στην τελική θέση του εμβόλου απεικονίζεται από το σημείο 2 στο διάγραμμα p-V. Λόγω της υπάρξεως οιονεί στατικής μεταβολής κάθε σημείο της καμπύλης που περιγράφει τη μεταβολή 1-2 αντιστοιχεί σε κατάσταση ισορροπίας του συστήματος. Είναι επομένως φανερό ότι το έργο W_{12} θα δίνεται από το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 1-2 και θα αναφέρεται σε ***θετικό έργο***, δηλαδή σε έργο που παράγεται από το σύστημα. Αν η μεταβολή είχε την αντίθετη φορά, δηλαδή 2-1, τότε το έργο θα ήταν ***αρνητικό***, δηλαδή θα αναφερόταν σε έργο που δίδεται στο σύστημα.

Είναι προφανές ότι η τιμή του έργου W_{12} εξαρτάται από τη σχέση που συνδέει την πίεση και τον όγκο κατά τη συγκεκριμένη μεταβολή, δηλαδή από την καμπύλη που ενώνει τα σημεία 1 και 2 στο διά-



Σχ. 4.1γ.
Απεικόνιση του έργου ογκομεταβολής σε διάγραμμα p-V.

γραμμα p-V. Στην περίπτωση που ακολουθείται μία διαφορετική καμπύλη, το έργο ογκομεταβολής για το ίδιο αρχικό και τελικό σημείο θα είναι διαφορετικό. Συνεπώς, το έργο δεν είναι συνάρτηση μόνο της αρχικής και της τελικής θέσεως αλλά και της συγκεκριμένης διαδρομής. Έτσι, το έργο ως μέγεθος είναι ***μη τέλειο διαφορικό*** και αυτός είναι ο λόγος που το διαφορικό του συμβολίζεται διαφορετικά, ως δW και όχι ως dW.

Πρέπει να υπενθυμιστεί ότι τα καταστατικά θερμοδυναμικά μεγέθη είναι τέλεια διαφορικά, αφού η τιμή τους εξαρτάται μόνο από τη θέση (την κατάσταση) και όχι από τη διαδρομή που έχει ακολουθηθεί, για να φτάσει το σύστημα στη συγκεκριμένη κατάσταση. Η ολοκλήρωσή τους συνεπώς, εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική θέση και ισχύει (για παράδειγμα για τον όγκο):

$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1$$

Για τα τέλεια διαφορικά χρησιμοποιείται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σύμβολο d. Από τα προηγούμενα έγινε φανερό ότι σε καμιά περίπτωση δεν μπορούμε να αναφερθούμε σε έργο μιας καταστάσεως (1), δηλαδή W_1, ούτε να αναφερθούμε σε διαφορά $W_2 - W_1$, διότι τα παραπάνω δεν ορίζονται. Το έργο ορίζεται μόνο, όταν έχομε διεργασία (μεταβολή) και μόνο για συγκεκριμένη μεταβολή.

Θα εξετάσομε στη συνέχεια μερικές ειδικές περιπτώσεις θερμοδυναμικών μεταβολών.

Διεργασία υπό σταθερό όγκο (ισόογκη ή ισόχωρη).

Η παραπάνω μεταβολή παριστάνεται στο διάγραμμα p-V με ένα κατακόρυφο ευθύγραμμο τμήμα, δηλαδή κάθετο στον άξονα V [σχ. 4.1δ(β)]. Στην περίπτωση της ισόογκης μεταβολής έχουμε προφανώς dV = 0 και συνεπώς δW = 0, άρα στην περίπτωση αυτή το έργο ογκομεταβολής είναι μηδέν.

Διεργασία υπό σταθερή πίεση (ισόθλιπτη μεταβολή)

Η μεταβολή αυτή παριστάνεται στο διάγραμμα p-V με ευθύγραμμο τμήμα κάθετο στον άξονα p, δηλαδή, παράλληλο στον άξονα V [σχ. 4.1δ(α)]. Εφόσον η διεργασία είναι υπό σταθερή πίεση, ο υπολογισμός του έργου ογκομεταβολής γίνεται εύκολα, γιατί η πίεση βγαίνει εκτός του ολοκληρώματος και συνεπώς προκύπτει:

$$W_{12} = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 p dV = p\int_1^2 dV = p(V_2 - V_1)$$

Διεργασία υπό σταθερή θερμοκρασία (ισοθερμοκρασιακή μεταβολή).

Κατά τη διάρκεια της παραπάνω διεργασίας η θερμοκρασία του συστήματος παραμένει σταθερή. Αν θεωρηθεί ότι το σύστημα είναι τέλειο αέριο, τότε για σταθερή θερμοκρασία προφανώς, θα ισχύει:

$$pV = C = \text{σταθερά} \Rightarrow p = C/V$$

Η μορφή της παραπάνω καμπύλης σε διάγραμμα p-V είναι μία υπερβολή [σχ. 4.1δ(γ)]. Αν αντικατασταθεί η προηγούμενη εξίσωση στη σχέση υπολογισμού του έργου ογκομεταβολής, θα προκύψει:

$$W_{12} = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 p dV = C\int_1^2 dV/V = C\ln(V_2/V_1) =$$
$$= C\ln(r)$$

όπου r ο λόγος του τελικού προς τον αρχικό όγκο που ονομάζεται ***λόγος εκτονώσεως***. Αφού η σταθερά C είναι ίση με το γινόμενο πιέσεως και όγκου σε κάθε σημείο της μεταβολής, από την καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων προκύπτει:

$$W_{12} = p_1 V_1 \ln(r) = p_2 V_2 \ln(r) = mRT\ln(r)$$

Πολυτροπική μεταβολή.

Ως πολυτροπική ορίζεται μία μεταβολή κατά την οποία ισχύει: $pV^n = C =$ σταθερά όπου ο εκθέτης n ονομάζεται εκθέτης της πολυτροπικής μεταβολής και μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή από το μείον άπειρο έως το συν άπειρο, εξαρτώμενος από την ίδια τη μεταβολή. Για τη μεταβολή αυτή προκύπτει:

$$pV^n = C = p_1 V_1^n = p_2 V_2^n$$

ή

$$p = C/V^n = p_1 V_1^n / V^n = p_2 V_2^n / V^n$$

και

$$\int_1^2 p dV = C\int_1^2 dV/V^n = C\left[\frac{V^{-n+1}}{-n+1}\right]_1^2 =$$

$$= \left[\frac{C}{1-n}\right]\left[V_2^{1-n} - V_1^{1-n}\right] =$$

$$= \frac{p_2 V_2^n V_2^{1-n} - p_1 V_1^n V_1^{1-n}}{1-n} = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1-n}$$

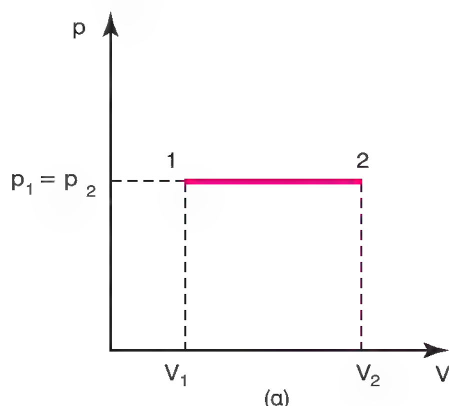
Προφανώς, η σχέση ισχύει για n διαφορετικό του 1. Για n = 1 προκύπτει η ειδική περίπτωση της ισο-

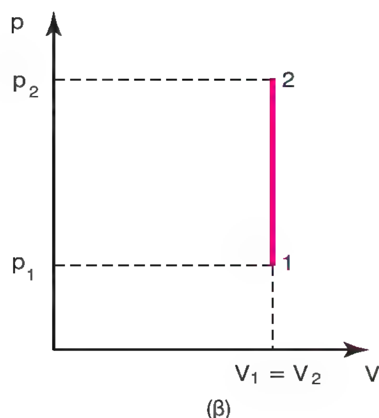
θερμοκρασιακής μεταβολής. Το παραπάνω ολοκλήρωμα ισούται με το έργο ογκομεταβολής για κλειστό σύστημα, που εκτελεί πολυτροπική μεταβολή.

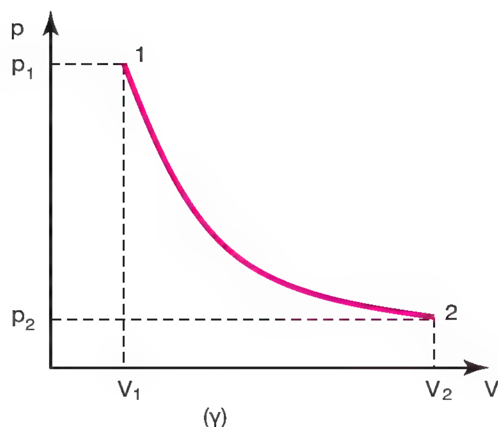
Κυκλική μεταβολή.

Ας θεωρήσομε την κυκλική διεργασία του σχήματος 4.1ε, που παρίσταται σε διάγραμμα p-V, όπου το κλειστό σύστημα ξεκινά από την κατάσταση 1 και μέσω της διαδρομής (α) καταλήγει στην κατάσταση 2, ενώ μέσω της διαδρομής (β) επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση 1. Το έργο ογκομεταβολής κατά τη διαδρομή 1-2(α) είναι το ανοικτό και σκούρο γραμμοσκιασμένο τμήμα κάτω από την καμπύλη (α) και προφανώς είναι θετικό. Το έργο ογκομεταβολής κατά τη διαδρομή 2-1(β) είναι το σκούρο γραμμοσκιασμένο τμήμα κάτω από την καμπύλη (β) και προφανώς, είναι αρνητικό. Το συνολικό έργο ογκομεταβολής της κυκλικής διεργασίας 1-2-1 ισούται με το άθροισμα των δύο επιμέρους έργων, το οποίο (επειδή το δεύτερο τμήμα είναι αρνητικό) ισούται με τη διαφορά των δύο εμβαδών κάτω από τις καμπύλες (α) και (β). Η διαφορά αυτή προφανώς, ισούται με το εμβαδόν που περιέχεται από την κλειστή καμπύλη της κυκλικής μεταβολής (ανοικτό γραμμοσκιασμένο τμήμα).

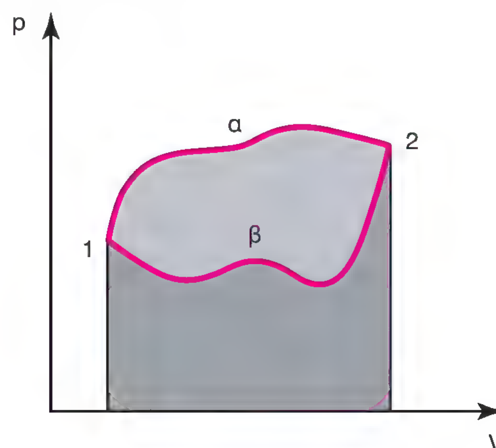
Άρα, το έργο ογκομεταβολής κλειστού συστήματος που εκτελεί κυκλική διεργασία, ισούται με το εμβαδόν εντός της καμπύλης που περιγράφει τη μεταβολή σε διάγραμμα p-V.







Σχ. 4.1δ.
α) Ισόθλιπτη, β) ισόογκη και γ) ισοθερμοκρασιακή μεταβολή. Τα αντίστοιχα έργα ογκομεταβολής δίδονται από το εμβαδόν κάτω από κάθε καμπύλη.



Σχ. 4.1ε.
Έργο ογκομεταβολής κυκλικής διεργασίας. Ισούται με το εμβαδόν εντός της κυκλικής μεταβολής σε διάγραμμα p-V.

4.1.7 Θερμότητα.

Γνωρίζομε από την καθημερινή πρακτική ότι, εάν ένα κομμάτι θερμού μετάλλου τοποθετηθεί μέσα σε κρύο νερό, το κομμάτι του μετάλλου ψύχεται, ενώ το νερό θερμαίνεται, έως ότου και τα δύο αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία. Η εξίσωση της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας οφείλεται στη ***ροή θερμότητας*** από το θερμό σώμα στο ψυχρό.

Η θερμότητα ορίζεται ως η μορφή ενέργειας, που μεταδίδεται μέσα από το όριο ενός θερμοδυναμικού συστήματος συγκεκριμένης θερμοκρασίας προς ένα

άλλο σύστημα –ή στο περιβάλλον– που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία, λόγω ακριβώς αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο συστημάτων.

Η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από σύστημα μεγαλύτερης προς σύστημα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η μοναδική αιτία αυτής της μεταφοράς ενέργειας είναι η διαφορά θερμοκρασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ίδιο το σύστημα δεν περιέχει θερμότητα. ***Η θερμότητα μπορεί να οριστεί μόνο στα όρια του συστήματος***, κατά τη διαδικασία της μεταφοράς της από ένα σύστημα σε ένα άλλο και για όσο χρόνο διαρκεί η μεταφορά. Στο προηγούμενο παράδειγμα, τα δύο συστήματα του μετάλλου και του νερού δεν περιέχουν τα ίδια θερμότητα. Αυτό που περιέχουν είναι φυσικά ενέργεια (για την οποία θα μιλήσομε παρακάτω). Η θερμότητα εμφανίζεται (στα όρια των συστημάτων) μέχρι να επέλθει θερμοκρασιακή ισορροπία στα δύο συστήματα. Το σύμβολο της θερμότητας είναι το Q.

Αφού η θερμότητα είναι μορφή ενέργειας, τότε οι μονάδες μετρήσεώς της θα είναι αυτές της ενέργειας (και του έργου). ΄Ετσι, στο S.I. μονάδα θερμότητας είναι το joule. Οι προηγούμενες μονάδες θερμότητας (Btu και calorie) οφείλουν την ύπαρξή τους στο γεγονός ότι η θερμότητα δεν θεωρούνταν μορφή ενέργειας. Σήμερα, η χρησιμοποίησή τους στερείται νοήματος, αν και δυστυχώς, χρησιμοποιούνται ακόμη. Συνδέονται με το joule με τη σχέση:

$$1\ \text{J} = 238{,}85 \times 10^{-6}\ \text{kcal} = 947{,}8 \times 10^{-6}\ \text{Btu}$$

Εξ ορισμού, η θερμότητα που δίδεται σε ένα σύστημα, θεωρείται θετική, ενώ η θερμότητα που αποβάλλεται από το σύστημα, θεωρείται αρνητική.

Στην περίπτωση που η θερμότητα έχει τιμή μηδενική (Q=0), μιλάμε για ***αδιαβατική διεργασία.***

Όπως και το έργο, έτσι και η θερμότητα δεν είναι τέλειο διαφορικό. Η τιμής της εξαρτάται από τη διαδρομή της θερμοδυναμικής διεργασίας και όχι μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση. ΄Ετσι, για τους συμβολισμούς της θα ακολουθούμε τους αντίστοιχους για το έργο. Το διαφορικό της θερμότητας θα συμβολίζεται με δQ, ενώ η θερμότητα που δίδεται στο σύστημα κατά τη διαδρομή 1-2 θα είναι:

$$Q_{12} = \int_1^2 \delta Q$$

Ο ***ρυθμός μεταδόσεως της θερμότητας (θερμική ισχύς)*** προς ένα σύστημα συμβολίζεται με $\dot{Q}$ και ορίζεται (κατ' αναλογία με την ισχύ) ως η πρώτη παράγωγος της θερμότητας ως προς το χρόνο:

$$\dot{Q} = \frac{\delta Q}{dt}$$

Προφανώς, μονάδες μετρήσεώς της θα είναι αυτές της ισχύος. Επιπλέον χρησιμοποιούνται και οι μονάδες Btu/s και kcal/s, οι οποίες συνδέονται με το watt με τη σχέση:

$$1\ \text{W} = 238{,}8 \times 10^{-6}\ \text{kcal/s} = 947{,}8 \times 10^{-6}\ \text{Btu/s}$$

Οι μονάδες αυτές καλό είναι να αποφεύγονται.

Το ειδικό μέγεθος που σχετίζεται με τη θερμότητα, ονομάζεται ***ειδική θερμότητα*** και ορίζεται ως:

$$q = Q/m$$

4.1.8 Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος.

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος είναι γνωστός και ως ***αρχή διατηρήσεως της ενέργειας*** και διατυπώνεται ως εξής:

Κατά την κυκλική διεργασία κλειστού συστήματος, το συνολικό ποσό θερμότητας που προσδίδεται στο σύστημα, ισούται με το συνολικό έργο που αποδίδεται στο περιβάλλον.

Δηλαδή: $$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος είναι αποτέλεσμα φυσικής παρατηρήσεως (όπως και κάθε νόμος της φύσεως). Δεν αποτελεί το προϊόν κάποιας θεωρητικής αποδείξεως. Σε κάθε πείραμα που έχει διεξαχθεί, έχει αποδειχθεί η ισχύς του.

Για μια μη κυκλική διεργασία ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος διατυπώνεται ως εξής:

Η θερμότητα που προσδίδεται σε κλειστό σύστημα κατά τη διάρκεια τυχαίας μεταβολής, ισούται με το έργο που παράγει το σύστημα συν την αύξηση της ενέργειας του συστήματος.

Δηλαδή: $$Q_{12} = E_2 - E_1 + W_{12}$$

όπου E_1 και E_2 οι τιμές της ενέργειας του συστήματος στις αντίστοιχες θέσεις. Η ενέργεια αποδεικνύεται ότι είναι καταστατικό μέγεθος και δεν εξαρτάται από τη διαδρομή, όπως το έργο και η θερμότητα.

Η ενέργεια του συστήματος διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι αυτή, που οφείλεται ή σε εξωτερικές επιδράσεις, όπως πα-

ρουσία εξωτερικών πεδίων δυνάμεων (βαρυτικό πεδίο ηλεκτρομαγνητικά πεδία κ.λ.π.) ή σε κίνηση της μάζας του συστήματος. Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται στην ενέργεια που το ίδιο το σύστημα περιέχει. Την ενέργεια λόγω εξωτερικών πεδίων ονομάζομε ***δυναμική ενέργεια*** και συμβολίζομε με E_Δ, την ενέργεια λόγω της κινήσεως της μάζας του συστήματος την ονομάζομε ***κινητική ενέργεια*** και τη συμβολίζομε με E_K, ενώ την ενέργεια που περικλείει η μάζα του συστήματος (το υπόλοιπο της ενέργειας, αν αφαιρεθούν οι δύο προηγούμενες κατηγορίες) την ονομάζομε ***εσωτερική ενέργεια*** και τη συμβολίζομε με U. Δηλαδή έχομε:

$$E = U + E_\Delta + E_K$$

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος σε μορφή ρυθμών μεταβολής γίνεται:

$$\dot{Q} = \frac{dE}{dt} + \dot{W}$$

όπου ο πρώτος όρος είναι η προσδιδόμενη θερμική ισχύς, ο τελευταίος η μηχανική ισχύς που παράγεται, ενώ ο δεύτερος όρος είναι ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας του συστήματος.

Ορίζεται ως ενθαλπία το μέγεθος Η:

$$H \equiv U + pV$$

ενώ το αντίστοιχο ειδικό μέγεθος (ειδική ενθαλπία h) ανά μονάδα μάζας ως:

$$h \equiv u + pv$$

Η ενθαλπία ως συνδυασμός καταστατικών μεγεθών θα είναι και αυτή ένα καταστατικό μέγεθος και θα είναι συνεπώς συνάρτηση μόνο της καταστάσεως του συστήματος και όχι της διαδρομής.

4.1.9 Ειδική θερμοχωρητικότητα.

Ας θεωρήσομε ένα σώμα, το οποίο αποτελείται από μία ομογενή φάση. Κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε μεταβολής που θα μελετήσομε, θεωρούμε ότι δεν συμβαίνει αλλαγή φάσεως.

Ορίζομε ως ειδική θερμοχωρητικότητα την ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα μάζας, που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά ένα βαθμό.

Πληρέστερος ορισμός της ειδικής θερμοχωρητικότητας προκύπτει θεωρώντας απειροστή μεταβολή της θερμοκρασίας, οπότε έχομε για την ειδική θερμοχωρητικότητα c:

$$c = \lim_{\Delta T \to 0} \frac{1}{m}\left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right) = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)$$

Όπως όμως έχομε ήδη διαπιστώσει, η θερμότητα που δέχεται ένα σύστημα κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής μεταξύ δύο σημείων, εξαρτάται από τη διαδρομή της μεταβολής. Έτσι για τον ορισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας απαιτείται να προδιαγράψομε και τη θερμοδυναμική διεργασία που εκτελείται από το σύστημα κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Θα εξετάσομε στη συνέχεια δύο ειδικές περιπτώσεις μεταβολών, όπου ορίζεται η ειδική θερμοχωρητικότητα. Όπως είδαμε προηγουμένως, για την περίπτωση που δεν υπάρχει μεταβολή στη δυναμική και στην κινητική ενέργεια του συστήματος, η θερμότητα που εισέρχεται στο κλειστό σύστημα που εκτελεί απειροστή οιονεί στατική διεργασία, δίδεται:

$$\delta Q = dU + \delta W = dU + pdV$$

Ας θεωρήσομε τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

1) Το σύστημα εκτελεί ***ισόογκη μεταβολή***, για την οποία το διαφορικό dV γίνεται μηδέν, οπότε η παραπάνω σχέση διαμορφώνεται:

$$\delta Q = dU$$

Για την περίπτωση αυτή η ***ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο c_V*** ορίζεται ως:

$$c_V = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_V$$

η οποία λόγω της προηγούμενης σχέσεως γίνεται:

$$c_V = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_V = \frac{1}{m}\left(\frac{\vartheta U}{\vartheta T}\right)_V = \left(\frac{\vartheta u}{\vartheta T}\right)_V$$

2) Το σύστημα εκτελεί ***ισόθλιπτη μεταβολή***. Στην περίπτωση αυτή, η θερμότητα που συναλλάσσει το σύστημα, ισούται με τη μεταβολή στην ενθαλπία του συστήματος, δηλαδή:

$$\delta Q = dH$$

Για την περίπτωση αυτή η ***ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση c_p*** ορίζεται ως:

$$c_P = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_P$$

η οποία λόγω της προηγούμενης σχέσεως γίνεται:

$$c_P = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_P = \frac{1}{m}\left(\frac{\vartheta H}{\vartheta T}\right)_P = \left(\frac{\vartheta h}{\vartheta T}\right)_P$$

Στο τέλειο αέριο οι διαμοριακές δυνάμεις είναι μηδενικές και συνεπώς, και η ενέργεια λόγω των δυνάμεων αυτών είναι μηδενική. Μπορεί να απο-

δειχθεί ότι για το τέλειο αέριο η εσωτερική του ενέργεια είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας. Δηλαδή ισχύει:

$$u = f(T)$$

Το παραπάνω συμπέρασμα σημαίνει ότι για δεδομένη θερμοκρασία ένα τέλειο αέριο έχει δεδομένη εσωτερική ενέργεια, ανεξάρτητα της πιέσεως που επικρατεί. Η προηγούμενη ιδιότητα του τελείου αερίου μας δίνει τη δυνατότητα να εκφράσομε την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο με τον ακόλουθο τρόπο. Γνωρίζομε ότι ορίζεται ως:

$$c_V = \left(\frac{\vartheta u}{\vartheta T}\right)_V$$

Επειδή όμως η εσωτερική ενέργεια δεν είναι συνάρτηση του όγκου για τέλεια αέρια, θα έχομε:

$$c_{V0} = \frac{du}{dT}$$

όπου ο δείκτης 0 στην ειδική θερμοχωρητικότητα αναφέρεται σε τέλειο αέριο. Η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$du = c_{V0}dT$$

και για δεδομένη μάζα m:

$$dU = mc_{V0}dT$$

Από τον ορισμό της ενθαλπίας και από την καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων προκύπτει ότι, αφού η εσωτερική ενέργεια είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας, τότε και η ενθαλπία είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας, δηλαδή:

$$h = f(T)$$

Έτσι, η ειδική θερμοχωρητικότητα τελείου αερίου υπό σταθερή πίεση γίνεται ομοίως:

$$c_{P0} = \frac{dh}{dT}$$

και συνεπώς

$$dh = c_{P0}dT$$

ενώ για συγκεκριμένη μάζα m προκύπτει:

$$dH = mc_{P0}dT$$

Έτσι ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος για κλειστό σύστημα που εκτελεί έργο μετατοπίσεως, με απουσία άλλων μορφών ενέργειας πλην εσωτερικής, γίνεται:

$$\delta q = du + pdv = c_{V0}dT + pdv$$

Αφού οι ειδικές θερμοχωρητικότητες του τελείου αερίου είναι συναρτήσεις της θερμοκρασίας και των u, h, που είναι συναρτήσεις μόνο της θερμοκρασίας, συνεπάγεται ότι οι ειδικές θερμοχωρητικότητες του τελείου αερίου είναι και αυτές συναρτήσεις μόνο της θερμοκρασίας. Αφού λοιπόν τα μεγέθη u, h, c_{P0}, c_{V0} για το τέλειο αέριο είναι συναρτήσεις μόνο της θερμοκρασίας, τότε οι ισοθερμοκρασιακές καμπύλες είναι ταυτόχρονα και καμπύλες σταθερών u, h, c_{P0}, c_{V0}. Έτσι, για ένα τέλειο αέριο όταν κινούμαστε μεταξύ δύο ισοθερμοκρασιακών καμπυλών, ανεξάρτητα των αρχικών και τελικών σημείων, η διαφορά στα παραπάνω μεγέθη θα είναι η ίδια.

Ας θεωρήσομε τη σχέση ορισμού της ενθαλπίας, η οποία με την καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων γίνεται:

$$h = u + pv = u + RT$$

Παίρνοντας το διαφορικό των δύο μελών και χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες σχέσεις για τις ειδικές θερμοχωρητικότητες των τελείων αερίων προκύπτει:

$$dh = du + d(RT) = du + RdT \Rightarrow$$
$$\Rightarrow c_{P0}dT = c_{V0}dT + RdT$$

Συνεπώς

$$c_{P0} = c_{V0} + R \Leftrightarrow c_{P0} - c_{V0} = R$$

Δηλαδή για τέλειο αέριο η διαφορά των δύο ειδικών θερμοχωρητικοτήτων είναι σταθερή, ανεξάρτητα της θερμοκρασίας.

Συμβολίζομε με γ το λόγο των δύο ειδικών θερμοχωρητικοτήτων:

$$\gamma = \frac{c_P}{c_V}$$

Έτσι, για τα τέλεια αέρια θα ισχύει:

$$c_{P0} = R\frac{\gamma}{\gamma - 1} \quad \text{και} \quad c_{V0} = \frac{R}{\gamma - 1}$$

4.1.10 Θερμοδοχεία, θερμικές και ψυκτικές μηχανές.

Ονομάζομε θερμοδοχείο ένα σώμα, το οποίο έχει την ικανότητα να προσλαμβάνει ή να αποβάλλει επ' άπειρον ποσά θερμότητας χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του.

Συνήθως, επειδή απαιτούνται δύο θερμοδοχεία, ένα ***υψηλής*** και ένα ***χαμηλής θερμοκρασίας***, ονομά-

ζομε ***θερμοδοχείο*** αυτό της υψηλότερης θερμοκρασίας και ***ψυχροδοχείο*** αυτό με τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Η θάλασσα και η ατμόσφαιρα της γης, λόγω του μεγάλου όγκου τους μπορούν να παίξουν το ρόλο ενός θερμοδοχείου (ψυχροδοχείου για την ακρίβεια), αφού μπορούν να απορροφήσουν τεράστια ποσά θερμότητας χωρίς να μεταβληθεί αισθητά, η θερμοκρασία τους.

Ονομάζομε θερμοκινητήρα ή θερμική μηχανή οποιοδήποτε σύστημα, το οποίο κατά τη διάρκεια κυκλικής διεργασίας απορροφά θερμότητα παράγοντας έργο (θετικό έργο, θετική θερμότητα).

Ονομάζομε ψυκτική μηχανή ή αντλία θερμότητας οποιοδήποτε σύστημα, το οποίο κατά τη διάρκεια κυκλικής διεργασίας απορροφά έργο, αντλώντας θερμότητα από ψυχροδοχείο και αποβάλλοντας θερμότητα σε θερμοδοχείο (αρνητικό έργο, αρνητική καθαρή θερμότητα).

Για ένα θερμοκινητήρα, αν Q_H η θερμότητα που δίνει το θερμοδοχείο στο σύστημα και Q_L η θερμότητα που δίνει το σύστημα στο ψυχροδοχείο και αν θεωρήσομε ότι τα ποσά θερμότητας Q_H και Q_L δίδονται σε απόλυτες τιμές, τότε η καθαρή θερμότητα που παίρνει το σύστημα, είναι προφανώς ίση με $Q_H – Q_L$ η οποία, σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, ισούται με το έργο W που παράγει το σύστημα. Στο σημείο αυτό θα ορίσομε το θερμικό βαθμό αποδόσεως $\eta_{\theta\varepsilon\rho\mu}$ του συστήματος. Γενικά ως βαθμό αποδόσεως ορίζομε το λόγο της ωφέλιμης ενέργειας προς την ενέργεια που καταναλώνομε.

Στην περίπτωση της θερμικής μηχανής ορίζομε το θερμικό βαθμό αποδόσεως $\eta_{\theta\varepsilon\rho\mu}$ ως το λόγο του έργου W που παράγει το σύστημα προς τη θερμότητα Q_H που δίδεται από το θερμοδοχείο.

Δηλαδή:

$$\eta_{\theta\varepsilon\rho\mu} = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Όπως φαίνεται καθαρά, ο θερμικός βαθμός αποδόσεως της θερμικής μηχανής είναι πάντα μικρότερος της μονάδας.

4.1.11 Δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές κλασικές διατυπώσεις του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, η διατύπωση Kelvin - Planck και η διατύπωση του Clausius. Και οι δύο διατυπώσεις είναι ισοδύναμες μεταξύ τους και από τη μία προκύπτει η άλλη.

Διατύπωση Kelvin - Planck:

Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή, η οποία κατά τη διάρκεια πλήρους κυκλικής διεργασίας, να έχει ως μοναδικό αποτέλεσμα την παραλαβή θερμότητας από μοναδικό θερμοδοχείο και την παραγωγή ισόποσου μηχανικού έργου, χωρίς δηλαδή, την απόρριψη μέρους της θερμότητας σε ψυχροδοχείο.

Διατύπωση Clausius:

Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί ψυκτική μηχανή, η οποία κατά τη διάρκεια πλήρους κυκλικής διεργασίας, να έχει ως μοναδικό αποτέλεσμα την αφαίρεση θερμότητας από ψυχροδοχείο και την αποβολή ισόποσης θερμότητας σε θερμοδοχείο, χωρίς δηλαδή την πρόσδοση έργου στο σύστημα.

Η πρώτη διατύπωση αναφέρεται στο γεγονός ότι τμήμα της θερμότητας που προσλαμβάνει θερμική μηχανή, πρέπει να αποβληθεί σε ψυχροδοχείο, δηλαδή, η θερμική μηχανή πρέπει αναγκαστικά να λειτουργεί μεταξύ δύο διαφορετικών επιπέδων θερμοκρασίας. Έτσι, αφού τμήμα της θερμότητας που προσλαμβάνεται, πρέπει να αποβληθεί, ο βαθμός αποδόσεως της θερμικής μηχανής είναι πάντα μικρότερος της μονάδας. Η δεύτερη διατύπωση, η οποία αναφέρεται σε ψυκτικές μηχανές, δείχνει ότι είναι αδύνατο να μεταφερθεί θερμότητα από σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας σε σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας, χωρίς την πρόσδοση έργου.

Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, όπως και κάθε φυσικός νόμος, είναι αποτέλεσμα παρατηρήσεως και πειράματος. Καμιά περίπτωση δεν έχει βρεθεί μέχρι τώρα, που να μην ισχύει ο νόμος αυτός. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως αποδεικνύεται ότι οι δύο διατυπώσεις είναι μεταξύ τους ισοδύναμες, δηλαδή καταστρατήγηση της πρώτης οδηγεί σε καταστρατήγηση της δεύτερης και το αντίστροφο.

4.1.12 Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές διεργασίες.

Θα ορίσομε στη συνέχεια έναν ειδικό τύπο θερμοδυναμικών διεργασιών, τις ***αντιστρεπτές*** διεργασίες, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στη θεμελίωση της θερμοδυναμικής.

Αντιστρεπτές είναι εκείνες οι διεργασίες, στις οποίες η πορεία μπορεί να αντιστραφεί, έτσι ώστε τόσο το σύστημα, όσο και το περιβάλλον να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση, χωρίς δηλαδή να απομένει κανένα ενεργειακό υπόλοιπο μεταξύ τους.

Οποιαδήποτε άλλη διεργασία, που δεν περιέχει τη δυνατότητα επιστροφής τόσο του συστήματος

όσο και του περιβάλλοντος στην αρχική τους κατάσταση, ονομάζεται ***μη αντιστρεπτή*** διεργασία. Μία αντιστρεπτή διεργασία είναι μία αλληλουχία καταστάσεων ισορροπίας. Έτσι, μια αντιστρεπτή διεργασία μπορεί να παρασταθεί σε οποιοδήποτε διάγραμμα θερμοδυναμικών συντεταγμένων ως συνεχής γραμμή, δηλαδή μία αλληλουχία καταστάσεων ισορροπίας (οιονεί στατική διεργασία). Η αντιστρεπτή διεργασία πρέπει να πραγματοποιείται τόσο αργά, ώστε το σύστημα να βρίσκει το χρόνο, για να αποκτά την κατάσταση ισορροπίας και να μην διαφέρουν οι ιδιότητες του συστήματος από ένα σημείο σε κάποιο άλλο. Μία διεργασία που γίνεται γρήγορα, δεν είναι δυνατόν να είναι αντιστρεπτή. Επίσης, επειδή τόσο το σύστημα, όσο και το περιβάλλον πρέπει να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση, δεν θα πρέπει να συμβαίνουν οποιεσδήποτε τύπου απώλειες ενέργειας. Έτσι, για να είναι μία διεργασία αντιστρεπτή, θα πρέπει να είναι οιονεί στατική και χωρίς απώλειες ενέργειας.

Η αντιστρεψιμότητα μιας μεταβολής συνδέεται με απουσία τριβών, διαδοχικές θέσεις ισορροπίας (απείρως αργές μεταβολές), απειροστές διαφορές θερμοκρασίας και απειροστές διαφορές πιέσεως. Όσο περισσότερο πλησιάζει μία διεργασία αυτά τα χαρακτηριστικά, τόσο περισσότερο ομοιάζει προς αντιστρεπτή διεργασία.

4.1.13 Ο κύκλος Carnot.

Ας θεωρήσομε θερμική μηχανή, η οποία παίρνει θερμότητα από θερμοδοχείο και απορρίπτει θερμότητα σε ψυχροδοχείο, που εξ' ορισμού διατηρούν σταθερές θερμοκρασίες. Έστω, ότι η συγκεκριμένη θερμική μηχανή, η οποία λειτουργεί μεταξύ των δύο θερμοκρασιών, εκτελεί όλες τις διεργασίες του κύκλου της υπό αντιστρεπτό τρόπο. Επομένως, ολόκληρος ο κύκλος θα είναι αντιστρεπτός και συνεπώς, μπορεί να λειτουργήσει και ως ψυκτικός κύκλος (αντίστροφη διεργασία). Ο κύκλος αυτό ονομάζεται ***κύκλος Carnot***, προς τιμή του Γάλλου μηχανικού ***Nicolas Leonard Sadi Carnot*** (1796-1832), ο οποίος έθεσε τις βάσεις για τη διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου το 1824.

Ο αντιστρεπτός κύκλος Carnot είναι ο κύκλος με το μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως που μπορεί να λειτουργήσει μεταξύ των δύο θερμοδοχείων σταθερών θερμοκρασιών.

Είναι αδύνατον να κατασκευαστεί μία μη αντιστρεπτή μηχανή, η οποία να λειτουργεί μεταξύ δύο δεδομένων θερμοδοχείων και να έχει μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως από τη μηχανή που λειτουργεί με αντιστρεπτό κύκλο μεταξύ των ιδίων θερμοδοχείων.

Όλες οι μηχανές (με οποιοδήποτε εργαζόμενο μέσο) που λειτουργούν με κύκλο Carnot μεταξύ των ιδίων θερμοδοχείων (σταθερής θερμοκρασίας), έχουν τον ίδιο βαθμό αποδόσεως.

4.1.14 Η ανισότητα του Clausius και η εντροπία.

Θα εξεταστεί στη συνέχεια, μία πολύ σημαντική σχέση για τη θερμοδυναμική, η ανισότητα του Clausius (ή θεώρημα του Clausius), η οποία είναι αποτέλεσμα της ισχύος του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου. Η σχέση αυτή ισχύει ***για οποιοδήποτε θερμοδυναμικό κύκλο*** και διατυπώνεται ως:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Η παραπάνω σχέση αποδεικνύεται ότι ισχύει για οποιονδήποτε αντιστρεπτό ή μη αντιστρεπτό κύκλο, τόσο θερμικό όσο και ψυκτικό.

Έστω, μια τυχαία αντιστρεπτή μεταβολή από το σημείο 1 στο σημείο 2. Αποδεικνύεται ότι για οποιαδήποτε ***αντιστρεπτή*** μεταβολή που συνδέει τα δύο σημεία, το μέγεθος

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)$$

παραμένει σταθερό, άρα δεν εξαρτάται από τη διαδρομή, και συνεπώς είναι καταστατικό μέγεθος. Το μέγεθος αυτό το ονομάζομε ***εντροπία*** και το συμβολίζομε με S. Συνεπώς:

$$S_{12} \equiv \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{ANT} \qquad \text{και} \qquad dS \equiv \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{ANT}$$

Το αντίστοιχο ειδικό μέγεθος (ανά μονάδα μάζας) συμβολίζεται με s και ονομάζεται ***ειδική εντροπία***. Μονάδα μετρήσεως της εντροπίας είναι προφανώς, το J/K, ενώ της ειδικής εντροπίας είναι το J/kg K. Αφού πρόκειται για καταστατικό μέγεθος, το ολοκλήρωμα κατά μήκος μιας διαδρομής μεταξύ δύο καταστάσεων, θα ισούται με τη διαφορά της εντροπίας των δύο καταστάσεων, δηλαδή:

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{ANT} = S_2 - S_1$$

Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ακόλουθο γεγονός. Η εντροπία είναι καταστατικό μέγεθος και ως εκ τούτου εξαρτάται μόνο από την κατάσταση και όχι από τη διαδρομή, επομένως, είτε φτάσομε σε ένα σημείο με αντιστρεπτή διεργασία είτε με μη αντιστρεπτή, η εντροπία του σημείου θα είναι η ίδια. Η παραπάνω σχέση μας επιτρέπει να

υπολογίσομε τη διαφορά εντροπίας μεταξύ δύο σημείων, με τη χρήση αντιστρεπτής διεργασίας. ***Η διαφορά εντροπίας είναι η ίδια για κάθε διεργασία που ενώνει τα δύο σημεία αντιστρεπτή ή μη αντιστρεπτή. Ισούται όμως με το παραπάνω ολοκλήρωμα μόνο για αντιστρεπτές μεταβολές.***

Η εντροπία, ως καταστατικό μέγεθος, δίδεται και αυτό στους πίνακες ιδιοτήτων των διαφόρων ουσιών (και του νερού - ατμού). Επίσης μπορεί να αποτελέσει συντεταγμένη διαγραμμάτων περιγραφής θερμοδυναμικών καταστάσεων ή διεργασιών, όπως και τα υπόλοιπα καταστατικά μεγέθη. Δύο τέτοια διαγράμματα που χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα συχνά, είναι τα διαγράμματα θερμοκρασίας-εντροπίας (T - s) και ενθαλπίας-εντροπίας (h - s) ή ***διάγραμμα Mollier***, όπως είναι ευρύτατα γνωστό.

Η αύξηση της εντροπίας κατά την μη αντιστρεπτή μετάδοση ποσού θερμότητας είναι μεγαλύτερη από την αύξηση της εντροπίας κατά την αντιστρεπτή μετάδοση του ίδιου ποσού θερμότητας (υπό την ίδια θερμοκρασία).

4.1.15 Η μεταβολή της εντροπίας στον κύκλο Carnot.

Η πρώτη διεργασία του κύκλου Carnot είναι ***ισοθερμοκρασιακή*** πρόσδοση θερμότητας στο σύστημα από το θερμοδοχείο, το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία T_H (για να είναι αντιστρεπτή η πρόσδοση θερμότητας πρέπει να γίνεται υπό απειροστή θερμοκρασιακή διαφορά, άρα ισοθερμοκρασιακά). Υπολογίζοντας τη μεταβολή της εντροπίας μεταξύ των δύο σημείων 1 και 2 του κύκλου, που απαρτίζουν την παραπάνω διεργασία, προκύπτει (αφού η θερμοκρασία παραμένει σταθερή σε όλη τη διεργασία):

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{ANT} = \frac{1}{T_H}\int_1^2 \delta Q = \frac{Q_{12}}{T_H}$$

Αφού η διεργασία είναι ισοθερμοκρασιακή, σε διάγραμμα T-S θα παριστάνεται με ευθύγραμμο τμήμα παράλληλο του άξονα της εντροπίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1στ.

Η δεύτερη διεργασία στον κύκλο Carnot είναι μία αδιαβατική εκτόνωση, οπότε η θερμότητα στη διεργασία αυτή θα είναι ίση με μηδέν και συνεπώς:

$$S_3 - S_2 = \int_2^3 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{ANT} = 0 \Rightarrow S_3 = S_2$$

Άρα η εντροπία στη διάρκεια της μεταβολής παραμένει σταθερή, κάτι που φαίνεται και από τον ορισμό της εντροπίας:

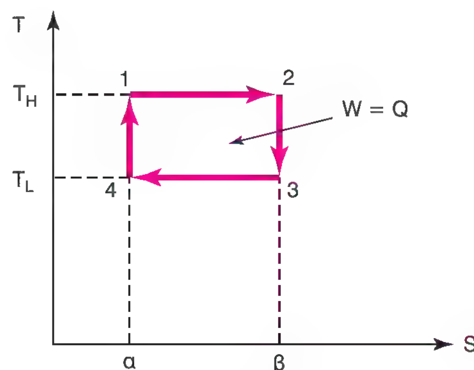
$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{ANT}$$

Η μεταβολή αυτή στο διάγραμμα T-S θα απεικονίζεται με ευθύγραμμο τμήμα, παράλληλο με τον άξονα T (σχ. 4.1στ). Οι υπόλοιπες δύο διεργασίες 3-4 και 4-1 είναι αντίστοιχες των δύο προηγουμένων και έτσι ο συνολικός κύκλος Carnot θα περιγράφεται στο διάγραμμα T-S με το ορθογώνιο του σχήματος 4.1στ. Από τη σχέση ορισμού της εντροπίας προκύπτει:

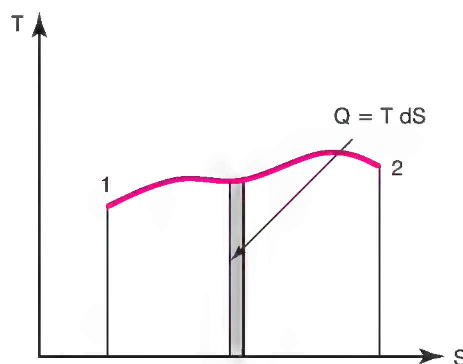
$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{ANT} \Rightarrow \delta Q_{ANT} = dS \cdot T$$

δηλαδή ***η θερμότητα που προσδίδεται στο σύστημα, θα δίνεται σε ένα διάγραμμα T-S ως το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη που περιγράφει την αντιστρεπτή μεταβολή*** (σχ. 4.1ζ).

Γυρίζοντας στην περίπτωση του κύκλου Carnot,



Σχ. 4.1στ.
Κύκλος Carnot σε διάγραμμα T-S. Απαρτίζεται από δύο ισοθερμοκρασιακές και δύο ισεντροπικές μεταβολές. Το εμβαδόν που περικλείεται από τον κύκλο, ισούται με την καθαρή προσδιδόμενη θερμότητα και προφανώς, με το αποδιδόμενο έργο.



Σχ. 4.1ζ.
Το εμβαδόν κάτω από αντιστρεπτή μεταβολή στο διάγραμμα T-S ισούται με τη συναλλασσόμενη θερμότητα.

τα εμβαδά των παραλληλογράμμων κάτω από τις δύο ισοθερμοκρασιακές θα δίνουν τα ποσά θερμότητας που δίδονται και αποβάλλονται από το σύστημα στις δύο ισοθερμοκρασιακές. Άρα, το εμβαδόν του κύκλου Carnot (το εμβαδόν του παραλληλογράμμου 12341) θα δίνει το καθαρό ποσό θερμότητας που πήρε το σύστημα σε ένα κύκλο, δηλαδή, (με βάση τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο) το έργο που παρήγαγε το σύστημα. Προσοχή στο γεγονός ότι, όταν ολοκληρώνομε κάτω από την καμπύλη προχωρώντας προς τα δεξιά, έχομε θετικό ποσό θερμότητας, ενώ αντίθετα ολοκληρώνοντας προς τα αριστερά προκύπτει αρνητικό ποσό θερμότητας (γι' αυτό, τα δύο εμβαδά αφαιρούνται, για να μας δώσουν το έργο της κυκλικής διεργασίας).

4.2 Θεωρητικοί κύκλοι αέρα.

4.2.1 Γενικά.

Η ύπαρξη θερμικής μηχανής που εκτελεί θερμοδυναμικό κύκλο προϋποθέτει την παρουσία σταθερού εργαζόμενου μέσου, το οποίο βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα εντός της μηχανής και ρέει σε μόνιμη (μη μεταβαλλόμενη χρονικά) ροή (για παράδειγμα η ροή του νερού-ατμού εντός του κυκλώματος ενός ατμοστροβίλου σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας).

Οι εμβολοφόρες ΜΕΚ ακολουθούν ***μηχανικούς κύκλους*** και όχι ***θερμοδυναμικούς κύκλους***, όντας μηχανές ανοικτού κυκλώματος, μη μόνιμης ροής, με μεταβαλλόμενη σύσταση εργαζόμενου μέσου (εισέρχεται αέρας και εξέρχεται καυσαέριο). Μπορούν να προσεγγισθούν από μηχανές μόνιμης ροής, αν ληφθεί υπόψη η εξομάλυνση της ροής, που συμβαίνει σε πολυκύλινδρες μηχανές και λόγω της παρουσίας του φίλτρου εισαγωγής και του αποσιωπητήρα στην εξαγωγή (που εξομαλύνουν τη ροή).

Παρ' όλα αυτά, συνηθίζεται να συγκρίνεται η λειτουργία των μηχανών αυτών με βάση αντίστοιχους θερμοδυναμικούς κύκλους, θεωρώντας τον ***θερμοδυναμικώς ισοδύναμο κλειστό κύκλο***. Η διαδικασία αυτή θα ακολουθηθεί στη συνέχεια, ξεκινώντας από τους απλούστερους θερμοδυναμικούς κύκλους, που μπορούν να προσομοιάσουν στη λειτουργία των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσεως. Αφαιρώντας προοδευτικά τις παραδοχές που επιβάλλομε, θα πλησιάζομε όλο και περισσότερο στην πραγματική λειτουργία των μηχανών αυτών.

Η ανάλυση των βασικών αρχών λειτουργίας των εμβολοφόρων ΜΕΚ μπορεί να γίνει ευκολότερα, χρησιμοποιώντας ορισμένες απλουστευτικές παραδοχές. Οι παραδοχές αυτές επιτρέπουν την προσέγγιση των μεταβολών που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυλίνδρων με απλές θερμοδυναμικές μεταβολές. Για τις μεταβολές αυτές είναι γνωστές οι σχέσεις που συνδέουν τα καταστατικά μεγέθη μεταξύ τους.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι ιδανικοί (πλήρως αναστρέψιμοι) θερμοδυναμικοί κύκλοι των εμβολοφόρων μηχανών, οι οποίοι ονομάζονται ***ιδανικοί πρότυποι κύκλοι αέρα***, λόγω του γεγονότος ότι το εργαζόμενο μέσο θεωρείται ότι είναι αέρας σταθερής συνθέσεως. Οι παραδοχές που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των θεωρητικών κύκλων αέρα παρατίθενται στη συνέχεια:

1) Το εργαζόμενο μέσο είναι αέρας, που συμπεριφέρεται ως τέλειο αέριο.

2) Η μάζα του εργαζόμενου μέσου διατηρείται αμετάβλητη (δεν έχομε άνοιγμα ή κλείσιμο βαλβίδων ή έκχυση καυσίμου).

3) Όλες οι μεταβολές του κύκλου είναι αναστρέψιμες.

4) Η πρόσδοση θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο γίνεται από θερμοδοχείο (και όχι μέσω χημικής αντιδράσεως καύσεως).

5) Η απαγωγή της θερμότητας του κύκλου γίνεται σε ψυχροδοχείο (και όχι μέσω της απαγωγής των καυσαερίων στο περιβάλλον).

6) Δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, δηλαδή η θερμική μηχανή έχει αδιαβατικά τοιχώματα.

7) Το εργαζόμενο μέσο χαρακτηρίζεται από σταθερές με τη θερμοκρασία, ειδικές θερμοχωρητικότητες υπό σταθερή πίεση και υπό σταθερό όγκο (c_p και c_v αντίστοιχα), με τιμές για τον αέρα c_p=1,005 kJ/kg K και c_v=0,717 kJ/kg K.

Οι παραπάνω απλουστευτικές παραδοχές δημιουργούν μεγάλη αριθμητική απόκλιση των θεωρητικών υπολογισμών από τα πραγματικά πειραματικά δεδομένα. Βοηθούν όμως στη διαπίστωση συγκεκριμένων τάσεων και γενικών συμπερασμάτων, ιδιαίτερα χρησίμων στην ανάλυση των κύκλων. Με σταδιακή άρση των παραπάνω παραδοχών γίνεται βαθμιαία προσέγγιση των πραγματικών κύκλων.

4.2.2 Ο ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα Otto.

Ο ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα Otto προσεγγίζει τη λειτουργία του βενζινοκινητήρα και πήρε το όνομά του από τον εφευρέτη της αντίστοιχης μηχα-

νής. Αποτελείται από τις εξής τέσσερεις θερμοδυναμικές μεταβολές (σχ. 4.2α):

1) Ισεντροπική συμπίεση του αέρα κατά τη μεταβολή 1-2.

2) Πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερό όγκο κατά τη μεταβολή 2-3.

3) Ισεντροπική εκτόνωση του αέρα κατά τη μεταβολή 3-4.

4) Αποβολή θερμότητας υπό σταθερό όγκο κατά τη μεταβολή 4-1 και κλείσιμο του κύκλου.

Όπως είναι φανερό, η συναλλαγή θερμότητας γίνεται υπό σταθερό όγκο, κάτι που για την πραγματική μηχανή μεταφράζεται σε στιγμιαία καύση και στιγμιαία αποβολή των καυσαερίων, όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ αντίστοιχα.

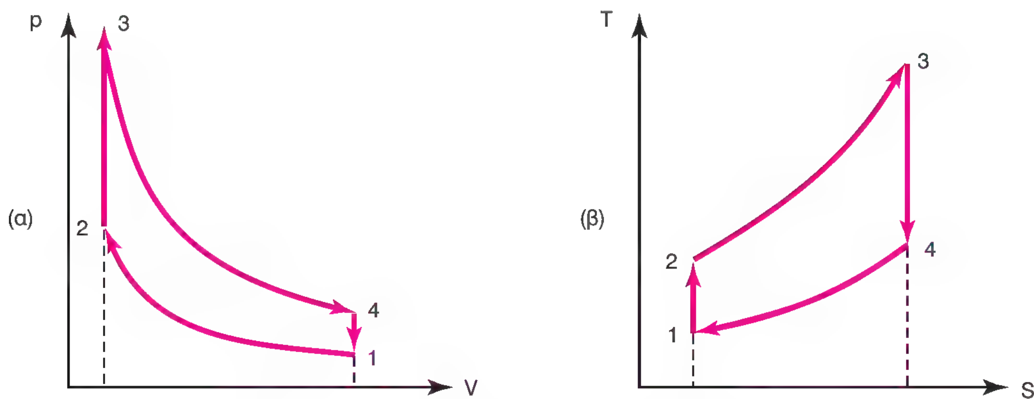
Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κύκλου, όπως φαίνονται στα αντίστοιχα διαγράμματα p-V και T-S του σχήματος 4.2α είναι:

1) Το έργο ***W***, το οποίο ισούται με το εμβαδόν του κύκλου 12341 στα διαγράμματα p-V και T-S (σχ. 4.2β).

2) Η προσδιδόμενη θερμότητα Q_{23}, η οποία ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 23 στο διάγραμμα T-S.

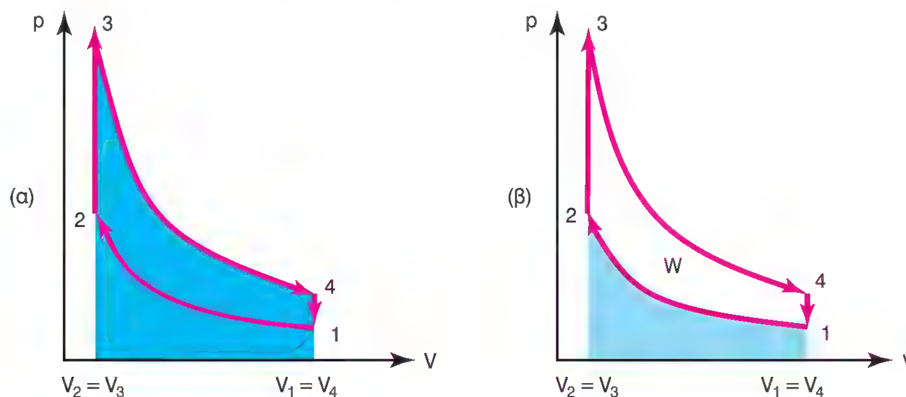
3) Η αποβαλλόμενη θερμότητα Q_{41}, η οποία ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 41 στο διάγραμμα T-S.

Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως η_O του κύκλου Otto, ορίζεται (όπως κάθε θερμικός βαθμός αποδόσεως) ως ο λόγος του αποδιδόμενου έργου προς την προσδιδόμενη θερμότητα. Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, το αποδιδόμενο έργο ενός θερμικού κύκλου, ισούται με το καθαρό ποσό



Σχ. 4.2α.

Τυπικά διαγράμματα κύκλου αέρα Otto. (1-2) ισεντροπική συμπίεση, (2-3) ισόογκη πρόσδοση θερμότητας, (3-4) ισεντροπική εκτόνωση, (4-1) ισόογκη αποβολή θερμότητας.



Σχ. 4.2β.

Αριστερά, το θετικό έργο που παράγεται κατά τη μεταβολή (3-4) και δεξιά, το αρνητικό έργο που προσδίδεται κατά τη μεταβολή (1-2). Η διαφορά τους (το εμβαδόν που περικλείεται εντός των καμπυλών 12341) είναι το καθαρό παραγόμενο έργο W.

της προσδιδόμενης θερμότητας, δηλαδή ισχύει (θεωρώντας απόλυτες τιμές των θερμοτήτων):

$$W_O = Q_{23} - Q_{41}$$

Ο θερμικός βαθμός του κύκλου θα δίδεται:

$$\eta_O = \frac{W_O}{Q_{23}} = \frac{Q_{23} - Q_{41}}{Q_{23}} = 1 - \frac{Q_{41}}{Q_{23}}$$

Αν m η μάζα του εργαζόμενου μέσου (αέρα) εντός του κυλίνδρου, τότε οι θερμότητες συνδέονται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$Q_{41} = mc_v(T_4 - T_1)$$

$$Q_{23} = mc_v(T_3 - T_2)$$

Υπενθυμίζεται ότι με c_v και c_p συμβολίζονται οι ειδικές θερμοχωρητικότητες υπό σταθερό όγκο και πίεση αντίστοιχα.

Με αντικατάσταση ο βαθμός αποδόσεως γίνεται:

$$\eta_O = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}\left[\frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1}\right]$$

Θα γίνει προσπάθεια να αναχθούν οι λόγοι των θερμοκρασιών σε λόγους όγκων, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις των θερμοδυναμικών μεταβολών που περιγράφουν τον κύκλο.

Για τις δύο ισεντροπικές μεταβολές ισχύουν οι σχέσεις:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\gamma-1}$$

όπου γ ο λόγος των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων (εκθέτης ισεντροπικής μεταβολής). Επειδή οι μεταβολές 23 και 41 είναι ισόογκες θα ισχύει:

$$V_2 = V_3 \quad \text{και} \quad V_4 = V_1$$

οπότε

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

Αντικαθιστώντας την παραπάνω σχέση στις σχέσεις ισεντροπικής μεταβολής προκύπτει:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}$$

ή

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4}$$

Με αντικατάσταση στην εξίσωση του βαθμού αποδόσεως προκύπτει ότι:

$$\eta_O = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση ισεντροπικής μεταβολής μεταξύ των σημείων 1 και 2 και αντικαθιστώντας στην προηγούμενη σχέση, ο βαθμός αποδόσεως προκύπτει:

$$\eta_O = 1 - \frac{1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}}$$

Ορίζεται ο ***βαθμός*** ή ***λόγος συμπιέσεως (ε)*** ως:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

οπότε με αντικατάσταση ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου Otto γίνεται:

$$\eta_O = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$$

Όπως είναι φανερό, ο βαθμός αποδόσεως εξαρτάται κατά ομόσημο τρόπο από το βαθμό συμπιέσεως ε. Αύξηση του βαθμού συμπιέσεως οδηγεί σε αύξηση του βαθμού αποδόσεως του κύκλου Otto. Η εξάρτηση από το γ είναι μικρή, ενώ δεν υπάρχει καθόλου εξάρτηση από την προσδιδόμενη θερμότητα Q_{23}, άρα και από το έργο W (τα οποία συνδέονται με τη σχέση $W = \eta_O Q_{23}$).

Το συνολικό θεωρητικό έργο εξόδου W υπολογίζεται με την άθροιση των έργων σε κάθε μεταβολή του κύκλου:

$$W_O = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41}$$

Επειδή οι μεταβολές 23 και 41 είναι ισόογκες τα αντίστοιχα έργα ογκομεταβολής είναι μηδενικά, οπότε προκύπτει:

$$W_O = W_{12} + W_{34}$$

Ορίζεται ως ***σχέση συμπιέσεως καύσεως*** (r_p) ο λόγος:

$$r_p = \frac{p_3}{p_2} = \frac{p_4}{p_1}$$

Αποδεικνύεται ότι το έργο του θεωρητικού πρότυπου κύκλου αέρα Otto προκύπτει ως:

$$W_O = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1}(r_p - 1)(\varepsilon^{\gamma-1} - 1)$$

Το θεωρητικό έργο W_O εξαρτάται από την κατάσταση 1 (δηλαδή την κατάσταση του αέρα πριν την έναρξη της φάσεως συμπιέσεως), την προσδιδόμενη θερμότητα Q_{23} (μέσω της σχέσεως συμπιέσεως καύσεως r_p) και από το λόγο συμπιέσεως ε.

Ένα πολύ σημαντικό μέγεθος για τους εμβολοφόρους κινητήρες είναι η ***μέση ενεργή πίεση του κύκλου (mean effective pressure)*** (p_m), που εκφράζει την αντίστοιχη σταθερή πίεση, η οποία, αν εξασκείτο στο έμβολο στη διαδρομή που αντιστοιχεί στον όγκο εμβολισμού του κυλίνδρου, θα παρήγαγε έργο ίσο με το θεωρητικό έργο του κύκλου κατά τη διαδρομή από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ. Επομένως, από τον ορισμό της μέσης ενεργής πιέσεως θα ισχύει:

$$W_O = p_m (V_1 - V_2) \Rightarrow p_m = \frac{W_O}{V_1 - V_2} = \frac{W_O}{V_2(\varepsilon - 1)}$$

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση τη σχέση υπολογισμού του θεωρητικού έργου, προκύπτει:

$$p_m = \frac{p_1 \varepsilon (r_p - 1)(\varepsilon^{\gamma-1} - 1)}{(\gamma - 1)(\varepsilon - 1)}$$

Η μέση ενεργή πίεση στο διάγραμμα p-V (σχ. 4.2γ) δίδεται από το ύψος του παραλληλογράμμου το οποίο περιορίζεται μεταξύ των όγκων V_1 και V_2 και έχει εμβαδόν ίσο με το εμβαδόν του κύκλου (το οποίο εκφράζει το έργο του κύκλου).

4.2.3 Ο ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα Diesel.

Ο ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα Diesel προσομοιάζει τη λειτουργία του πετρελαιοκινητήρα και αποτελείται από τις εξής τέσσερεις μεταβολές (σχ. 4.2δ):

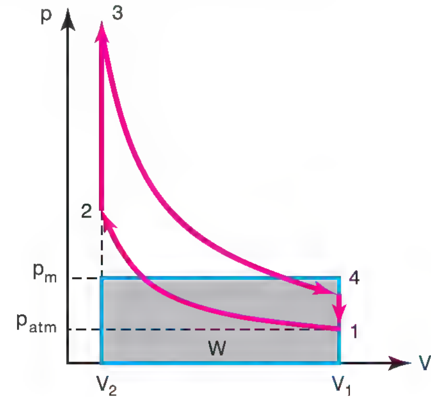
1) Ισεντροπική συμπίεση του αέρα κατά τη μεταβολή 1-2.

2) Πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερή πίεση κατά τη μεταβολή 2-3.

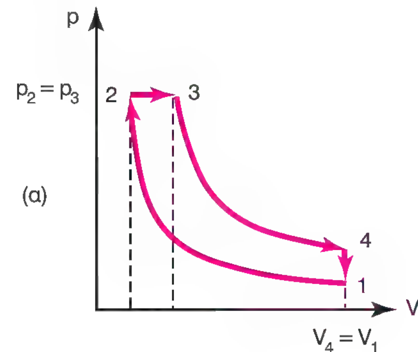
3) Ισεντροπική εκτόνωση του αέρα κατά τη μεταβολή 3-4.

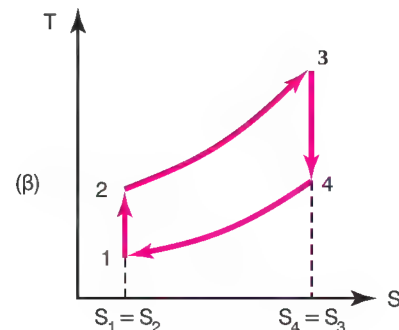
4) Αποβολή θερμότητας υπό σταθερό όγκο κατά τη μεταβολή 4-1 και κλείσιμο του κύκλου.

Όπως είναι φανερό, η πρόσδοση θερμότητας γίνεται υπό σταθερή πίεση και όχι υπό σταθερό όγκο, όπως γίνεται στον κύκλο Otto.



Σχ. 4.2γ.
Εύρεση της μέσης ενεργής πιέσεως κύκλου Otto. Το εμβαδόν του ισοδύναμου ορθογωνίου παραλληλογράμμου ισούται με το εμβαδόν που περικλείεται από τις καμπύλες 12341. Το ύψος του ορθογωνίου ισούται με τη μέση ενεργή πίεση του κύκλου.





Σχ. 4.2δ.
Τυπικά διαγράμματα κύκλου αέρα Diesel. (1-2) ισεντροπική συμπίεση, (2-3) ισόθλιπτη πρόσδοση θερμότητας, (3-4) ισεντροπική εκτόνωση, (4-1) ισόογκη αποβολή θερμότητας.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κύκλου, όπως φαίνονται στα αντίστοιχα διαγράμματα p-V και T-S είναι:

1) Το έργο ***W***, το οποίο ισούται με το εμβαδόν του κύκλου 12341 στα διαγράμματα p-V και T-S.

2) Η προσδιδόμενη θερμότητα $\boldsymbol{Q_{23}}$, η οποία ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 23 στο διάγραμμα T-S.

3) Η αποβαλλόμενη θερμότητα $\boldsymbol{Q_{41}}$, η οποία ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 41 στο διάγραμμα T-S.

Ο ***θερμικός βαθμός αποδόσεως*** $\boldsymbol{\eta_D}$ του κύκλου Diesel, ορίζεται (όπως κάθε θερμικός βαθμός αποδόσεως) ως ο λόγος του παραγόμενου έργου προς την προσδιδόμενη θερμότητα. Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, ισχύει (θεωρώντας απόλυτες τιμές των θερμοτήτων):

$$W_D = Q_{23} - Q_{41}$$

οπότε ο θερμικός βαθμός αποδόσεως προκύπτει:

$$\eta_D = \frac{W_D}{Q_{23}} = \frac{Q_{23} - Q_{41}}{Q_{23}} = 1 - \frac{Q_{41}}{Q_{23}}$$

Αν m η μάζα του εργαζόμενου μέσου (αέρα), τότε οι θερμότητες συνδέονται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$Q_{41} = mc_v(T_4 - T_1)$$

$$Q_{23} = mc_p(T_3 - T_2)$$

όπου χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχες ειδικές θερμοχωρητικότητες για την ισόογκη και την ισόθλιπτη μεταβολή. Ο βαθμός αποδόσεως γίνεται:

$$\eta_D = 1 - \frac{c_v}{c_p}\frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma}\left(\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}\right)$$

Ορίζεται ως ***βαθμός αποκοπής*** ή ***βαθμός διογκώσεως καύσεως*** ή ***βαθμός φορτίου (α)***, ο λόγος

$$\alpha = V_3 / V_2$$

Ακολουθώντας αντίστοιχη διαδικασία, όπως για τον κύκλο Otto, αποδεικνύεται ότι ο θερμικός βαθμός αποδόσεως του κύκλου Diesel δίδεται:

$$\boxed{\eta_D = 1 - \frac{\alpha^{\gamma} - 1}{\varepsilon^{\gamma-1}\gamma(\alpha - 1)}}$$

Όπως είναι φανερό, ο βαθμός αποδόσεως εξαρτάται κατά ομόσημο τρόπο από το βαθμό συμπιέσεως ε. Αύξηση του βαθμού συμπιέσεως οδηγεί σε αύξηση του βαθμού αποδόσεως του κύκλου Diesel.

Οι βαθμοί αποδόσεως Otto και Diesel διαφέρουν μόνο κατά τον όρο

$$\frac{\alpha^{\gamma} - 1}{\gamma(\alpha - 1)}$$

ο οποίος είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας, αφού ισχύει πάντα:

$$1 < \alpha < \varepsilon$$

Ο όγκος V_3 βρίσκεται μεταξύ των όγκων V_1 και V_2.

Λόγω του παραπάνω γεγονότος, για τον ίδιο λόγο συμπιέσεως ε, ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου Otto είναι πάντα μεγαλύτερος του βαθμού αποδόσεως του κύκλου Diesel, δηλαδή:

$$\eta_O > \eta_D$$

Το συνολικό θεωρητικό έργο εξόδου W υπολογίζεται με την άθροιση των έργων σε κάθε μεταβολή του κύκλου:

$$W_D = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41}$$

Αποδεικνύεται ότι το έργο ογκομεταβολής του θεωρητικού πρότυπου κύκλου αέρα Diesel προκύπτει:

$$W_D = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1}\varepsilon^{\gamma-1}\left[\gamma(\alpha-1) - \varepsilon^{1-\gamma}(\alpha^{\gamma}-1)\right]$$

Το θεωρητικό έργο W εξαρτάται από την κατάσταση 1, την προσδιδόμενη θερμότητα Q_{23} (μέσω της βαθμού διογκώσεως καύσεως α) και από το βαθμό συμπιέσεως ε.

Η ***μέση ενεργή πίεση του κύκλου (mean effective pressure)*** $\boldsymbol{(p_m)}$, θα δίνεται (σε αναλογία με τον κύκλο Otto):

$$\boxed{\begin{aligned} & W_D = p_m(V_1 - V_2) \Rightarrow p_m \\ & = \frac{W}{V_1 - V_2} = \frac{W}{V_1 - V_1/\varepsilon} = \\ & p_1\frac{\gamma\varepsilon^{\gamma}(\alpha - 1) - \varepsilon(\alpha^{\gamma} - 1)}{(\gamma - 1)(\varepsilon - 1)} \end{aligned}}$$

Η μέση ενεργή πίεση στο διάγραμμα p-V δίδεται από το ύψος του παραλληλογράμμου, το οποίο

περιορίζεται μεταξύ των όγκων V_1 και V_2 και έχει εμβαδόν ίσο με το εμβαδόν του κύκλου (το οποίο εκφράζει το έργο του κύκλου).

4.2.4 Ο μεικτός ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα (Dual Cycle).

Ο μεικτός πρότυπος ιδανικός κύκλος αέρα αποτελεί σύνθεση των δύο προηγουμένων ιδανικών προτύπων θερμοδυναμικών κύκλων και μπορεί να περιγράψει τόσο τη λειτουργία βενζινομηχανής όσο και τη λειτουργία πετρελαιομηχανής με μεγαλύτερη ακρίβεια από τους δύο προηγούμενους κύκλους. Αποτελείται από τις εξής πέντε μεταβολές (σχ. 4.2ε):

1) Ισεντροπική συμπίεση του αέρα κατά τη μεταβολή 1-2.

2) Πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερό όγκο κατά τη μεταβολή 2-3.

3) Πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερή πίεση κατά τη μεταβολή 3-4.

4) Ισεντροπική εκτόνωση του αέρα κατά τη μεταβολή 4-5.

5) Αποβολή θερμότητας υπό σταθερό όγκο κατά τη μεταβολή 5-1 και κλείσιμο του κύκλου.

Όπως είναι φανερό, η συναλλαγή θερμότητας γίνεται σε πρώτη φάση υπό σταθερό όγκο και σε δεύτερη φάση υπό σταθερή πίεση.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κύκλου, όπως φαίνονται στα αντίστοιχα διαγράμματα p-V και T-S, είναι:

1) Το έργο ***W***, το οποίο ισούται με το εμβαδόν του κύκλου 123451 στα διαγράμματα p-V και T-S.

2) Η προσδιδόμενη θερμότητα Q_{24}, η οποία ισούται με το εμβαδόν κάτω από τις καμπύλες 23 και 34 στο διάγραμμα T-S.

3) Η αποβαλλόμενη θερμότητα Q_{51}, η οποία ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 51 στο διάγραμμα T-S.

Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως του μεικτού κύκλου, ορίζεται (όπως κάθε θερμικός βαθμός αποδόσεως) ως ο λόγος του αποδιδόμενου έργου προς την προσδιδόμενη θερμότητα. Από τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο ισχύει (θεωρώντας απόλυτες τιμές των θερμοτήτων):

$$W = Q_{24} - Q_{51} = Q_{23} + Q_{34} - Q_{51}$$

Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως προκύπτει:

$$\eta = \frac{W}{Q_{24}} = \frac{Q_{24} - Q_{51}}{Q_{24}} = 1 - \frac{Q_{51}}{Q_{24}}$$

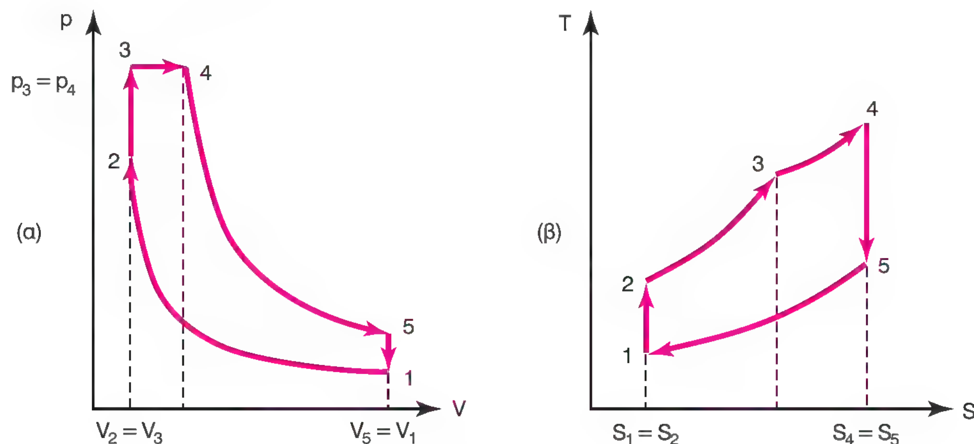
Αν m η μάζα του εργαζόμενου μέσου (αέρα), τότε οι συναλλασσόμενες θερμότητες συνδέονται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$Q_{51} = mc_v(T_5 - T_1)$$
$$Q_{23} = mc_v(T_3 - T_2)$$
$$Q_{34} = mc_p(T_4 - T_3)$$

και ο βαθμός αποδόσεως γίνεται:

$$\eta = 1 - \frac{T_1 - T_5}{T_3 - T_2 + \gamma(T_4 - T_3)}$$

Χρησιμοποιώντας σχέσεις θερμοδυναμικών μεταβολών αποδεικνύεται ότι ο βαθμός αποδόσεως



Σχ. 4.2ε.
Τυπικά διαγράμματα μεικτού κύκλου αέρα. (1-2) ισεντροπική συμπίεση, (2-3) ισόογκη πρόσδοση θερμότητας, (3-4) ισόθλιπτη πρόσδοση θερμότητας, (4-5) ισεντροπική εκτόνωση, (5-1) ισόογκη αποβολή θερμότητας.

του μεικτού κύκλου δίδεται:

$$\eta = 1-(\frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}})(\frac{r_P\alpha^{\gamma}-1}{r_P-1+\gamma r_P(\alpha-1)})$$

Το συνολικό θεωρητικό έργο εξόδου W υπολογίζεται με την άθροιση των έργων σε κάθε μεταβολή του κύκλου:

$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{45} + W_{51}$$

Επειδή οι μεταβολές 23 και 51 είναι ισόογκες τα αντίστοιχα έργα ογκομεταβολής είναι μηδενικά, οπότε:

$$W = W_{12} + W_{34} + W_{45}$$

Χρησιμοποιώντας θερμοδυναμικές σχέσεις αποδεικνύεται ότι το έργο ογκομεταβολής του μεικτού ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα δίδεται:

$$W = \frac{p_1V_1}{\gamma-1}\left[\gamma\varepsilon^{\gamma-1}\, r_P(\alpha-1)+\varepsilon^{\gamma-1}(r_P-1)-(r_P\alpha^{\gamma}-1)\right]$$

Το θεωρητικό έργο W εξαρτάται από την κατάσταση 1, την προσδιδόμενη θερμότητα Q_{23} (μέσω της βαθμού διογκώσεως καύσεως α και του βαθμού συμπιέσεως καύσεως) και από το βαθμό συμπιέσεως ε.

Η ***μέση ενεργή πίεση του μεικτού κύκλου (mean effective pressure)*** p_m, θα δίνεται (σε αναλογία με τους κύκλους Otto και Diesel):

$$p_m = \frac{W}{V_1-V_2} = \\ = p_1\frac{\gamma\varepsilon^{\gamma}r_P(\alpha-1)+\varepsilon^{\gamma}(r_P-1)-\varepsilon(r_P\alpha^{\gamma}-1)}{(\gamma-1)(\varepsilon-1)}$$

Ο μεικτός θεωρητικός πρότυπος κύκλος αέρα, ο οποίος περιλαμβάνει πρόσδοση θερμότητας και ισόθλιπτα και ισόογκα, περιγράφει με τον καλύτερο τρόπο όλες τις σύγχρονες εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως, προσεγγίζοντας περισσότερο τον κύκλο Otto ή τον κύκλο Diesel ανάλογα με τα ποσοστά της ισόχωρης και της ισόθλιπτης καύσεως που λαμβάνονται. Αν στις προηγούμενες σχέσεις θέσομε α=1, παίρνομε την περίπτωση του κύκλου Otto. Αντίστοιχα, αν θέσομε στις προηγούμενες σχέσεις r_P=1, παίρνομε την περίπτωση του θεωρητικού κύκλου Diesel.

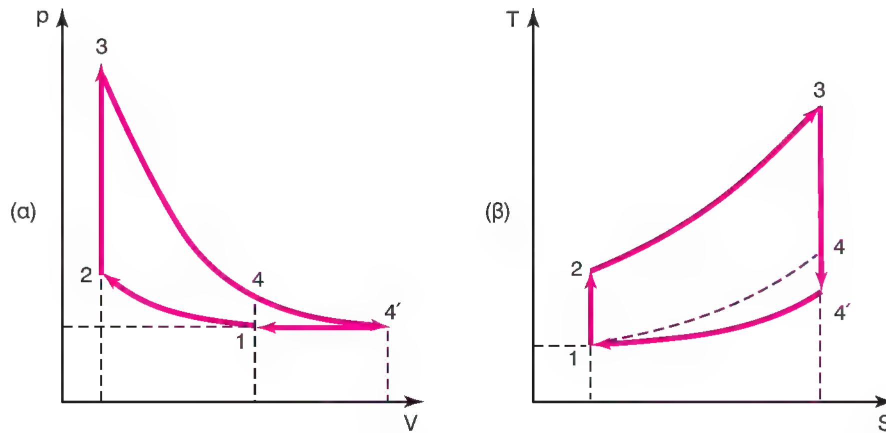
4.2.5 Διαπιστώσεις επί των προτύπων ιδανικών κύκλων αέρα.

Η εκτόνωση κατά τη διαδρομή 3-4 (ή 4-5 στο μεικτό κύκλο) δεν εκμεταλλεύεται πλήρως τη διαθέσιμη διαφορά πιέσεως. Ενώ δηλαδή θα μπορούσε να συνεχιστεί η εκτόνωση του εργαζόμενου μέσου μέχρι τελικής πιέσεως p_1, διακόπτεται στην πίεση p_4. Το γεγονός αυτό είναι αποτέλεσμα του σταθερού μήκους διαδρομής του εμβόλου, το οποίο είναι το ίδιο και για τη συμπίεση όσο και για την εκτόνωση. Η δυνατότητα εκμεταλλεύσεως της επιπλέον πτώσεως της πιέσεως με αντίστοιχη αύξηση του όγκου θα οδηγούσε σε αντίστοιχη αύξηση του ωφέλιμου έργου του κύκλου. Ο θερμοδυναμικός κύκλος, ο οποίος περιγράφει την αντίστοιχη μεταβολή, είναι ο ***κύκλος Atkinson*** (σχ. 4.2στ).

Στην πράξη δεν είναι δυνατή η εφαρμογή πλήρους εκτονώσεως μέχρι πιέσεως p_1, διότι θα απαιτούνταν η κατασκευή μηχανής με μεταβλητή διαδρομή κατά τη συμπίεση και κατά την εκτόνωση, με αντίστοιχη αύξηση του κόστους και της πολυπλοκότητας. Επιπλέον, λόγω της μεγάλης αυξήσεως της διαδρομής του εμβόλου κατά την εκτόνωση, ένα μεγάλο τμήμα του πρόσθετου ωφέλιμου έργου θα καταναλωνόταν σε τριβές. Παράλληλα, λόγω της ιδιαίτερης αυξήσεως του μεγέθους της μηχανής (για μικρή πρόσθετη ισχύ) θα χειροτέρευε η συγκέντρωση ισχύος της.

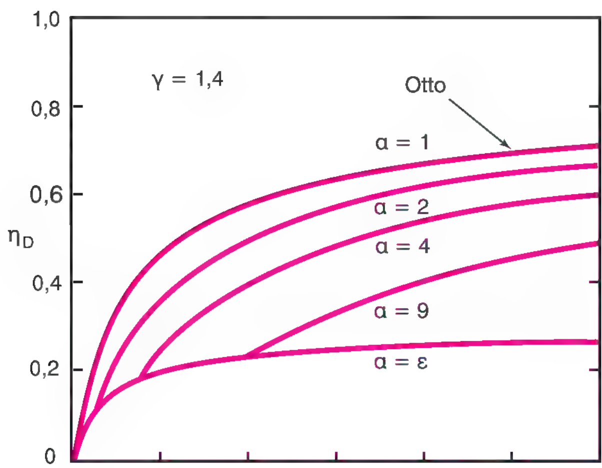
Η ιδέα της χρησιμοποιήσεως του πρόσθετου αυτού έργου της εκτονώσεως μέχρι την πίεση p_1 βρήκε απλούστερη και πιο χρήσιμη εφαρμογή στη χρήση των στροβιλοϋπερπληρωτών. Το διαθέσιμο έργο λόγω της υψηλής πιέσεως των καυσαερίων απορροφάται σε ένα στρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του κινεί ένα συμπιεστή. Ο συμπιεστής τροφοδοτεί τον κινητήρα με αέρα πιέσεως υψηλότερης του περιβάλλοντος, άρα και μεγαλύτερης πυκνότητας, αυξάνοντας έτσι την παροχή μάζας. Η μεγαλύτερη μάζα εισερχόμενου αέρα μπορεί να καύσει μεγαλύτερη μάζα καυσίμου, αυξάνοντας την ισχύ της μηχανής. Η χρησιμοποίηση του διαθέσιμου πρόσθετου αυτού έργου από το στρόβιλο έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο του βαθμού αποδόσεως της μηχανής.

Όπως φάνηκε από την ανάλυση των ιδανικών προτύπων κύκλων, η αύξηση του λόγου συμπιέσεως προκαλεί αύξηση στο βαθμό αποδόσεως του κύκλου. Αυτό είναι το άμεσο αποτέλεσμα του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, διότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμπιέσεως, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η πρόσδοση θερμότητας, οπότε τόσο μεγαλώνει ο βαθμός απο-



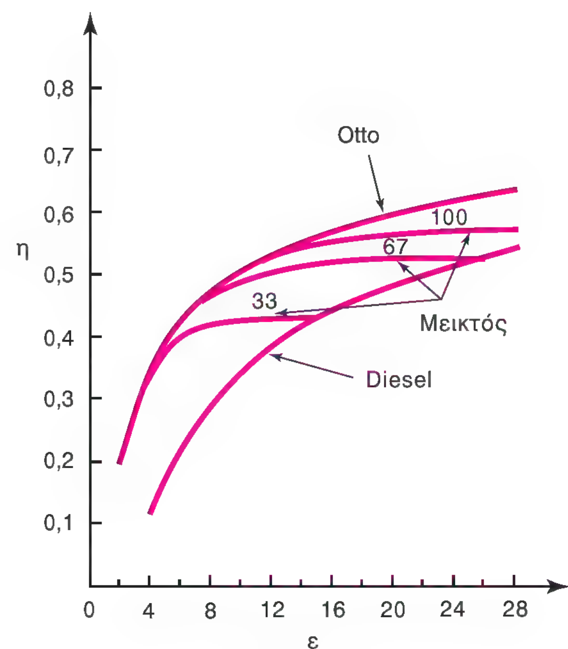
Σχ. 4.2στ.
Τυπικά διαγράμματα κύκλου αέρα Atkinson. (1-2) ισεντροπική συμπίεση, (2-3) ισόογκη πρόσδοση θερμότητας, (3-4΄) ισεντροπική εκτόνωση, (4΄-1) ισόθλιπτη συμπίεση.

δόσεως (σε αναλογία με τον κύκλο Carnot). Επομένως, στις εμβολοφόρες ΜΕΚ είναι επιθυμητή η επίτευξη υψηλών λόγων συμπιέσεως για την αύξηση του βαθμού αποδόσεως του κύκλου. Η αύξηση του βαθμού συμπιέσεως περιορίζεται στους κινητήρες Diesel από τα όρια αντοχής των μετάλλων, από την υπέρμετρη αύξηση των τριβών στις υψηλές πιέσεις και από τις αυξημένες απώλειες θερμότητας, που εξισορροπούν το όφελος από την άνοδο του βαθμού συμπιέσεως. Στους κινητήρες Otto ο βαθμός συμπιέσεως είναι χαμηλότερος και περιορίζεται από το γεγονός της αυταναφλέξεως του καυσίμου (κρουστική καύση).



Σχ. 4.2ζ.
Μεταβολή του βαθμού αποδόσεως του ιδανικού προτύπου κύκλου αέρα Diesel συναρτήσει του λόγου συμπιέσεως ε για διάφορες τιμές του λόγου φορτίου α.

Ενώ για τον ίδιο λόγο συμπιέσεως ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου Otto είναι μεγαλύτερος του αντίστοιχου κύκλου Diesel (σχ. 4.2ζ και 4.2η), η ικανότητα των κινητήρων Diesel να λειτουργούν σε πολύ υψηλότερους λόγους συμπιέσεως σε σχέση με τους κινητήρες Otto, τους επιτρέπει να επιτυγχάνουν αρκετά μεγαλύτερους θεωρητικούς και παράλληλα πραγματικούς βαθμούς αποδόσεως.



Σχ. 4.2η.
Μεταβολή του θεωρητικού βαθμού αποδόσεως με το βαθμό συμπιέσεως ε για κύκλο Otto, Diesel και μεικτό κύκλο (με τιμές του λόγου p_3/p_1=33,67,100) (ιδανικοί πρότυποι κύκλοι αέρα).

4.3 Πρότυποι κύκλοι αέρα-καυσίμου και προσαρμοσμένοι κύκλοι.

4.3.1 Πρότυποι κύκλοι αέρα-καυσίμου.

Οι ιδανικοί πρότυποι κύκλοι που εξετάστηκαν προηγουμένως, θεωρούν ως εργαζόμενο μέσο αέρα, που συμπεριφέρεται ως τέλειο αέριο, με σταθερές τιμές των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων, ενώ η πρόσδοση θερμότητας γίνεται από θερμοδοχείο. Μία πρώτη πιο κοντινή προσέγγιση προς τους πραγματικούς κύκλους των εμβολοφόρων ΜΕΚ προκύπτει με τη μερική άρση των παραδοχών όσον αφορά στη σύσταση του εργαζόμενου μέσου και την πρόσδοση θερμότητας. Έτσι, για το άκαυστο μείγμα θεωρούμε ότι έχομε τέλεια αέρια σε ανάμειξη σταθερής συνθέσεως. Η θερμότητα προέρχεται από την καύση του μείγματος, ενώ για το μείγμα που έχει προέλθει από την καύση, θεωρούμε ότι υπάρχει κατάσταση δυναμικής χημικής ισορροπίας (δηλαδή οι χημικές αντιδράσεις εκτελούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις με διαφορετικό σημείο ισορροπίας ανάλογα με τις συνθήκες). Οι συγκεκριμένοι κύκλοι που προκύπτουν, ονομάζονται ***πρότυποι κύκλοι αέρα-καυσίμου***. Επειδή λαμβάνουν υπόψη την παρουσία καυσίμου και καυσαερίου, επιτρέπουν να μελετηθεί η επίδραση παραμέτρων, όπως ο λόγος αέρα-καυσίμου στη λειτουργία και την απόδοση του κινητήρα. Η συγκρότηση των κύκλων αυτών και ο υπολογισμός των παραμέτρων τους πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Οι πρότυποι κύκλοι αέρα-καυσίμου, επειδή περιλαμβάνουν μεταβολή του εργαζόμενου μέσου, δεν είναι θερμοδυναμικοί αλλά μηχανικοί κύκλοι.

Οι πρότυποι κύκλοι αέρα καυσίμου, εκτός της πραγματικής συστάσεως του καυσίμου, λαμβάνουν υπόψη και τη μεταβολή των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων (c_p και c_v) του εργαζόμενου μέσου με τη θερμοκρασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου και η μεταβολή των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του εκθέτη ισεντροπικής μεταβολής γ με τη θερμοκρασία.

Οι βασικές παραδοχές των κύκλων αέρα-καυσίμου παρατίθενται στη συνέχεια, μαζί με τις αντίστοιχες μεταβολές:

1) Μεταβολή 1-2: αναστρέψιμη αδιαβατική συμπίεση μείγματος αέρα, ατμών καυσίμου και καυσαερίου (το οποίο παρέμεινε στον κύλινδρο), χωρίς καμιά μεταβολή στη χημική τους σύσταση.

2) Μεταβολή 2-3: πλήρης καύση του μείγματος (υπό σταθερό όγκο, ή πίεση ή συνδυασμό τους), χωρίς θερμικές απώλειες, με παραγωγή καυσαερίων, σε κατάσταση χημικής ισορροπίας.

3) Μεταβολή 3-4: αναστρέψιμη αδιαβατική εκτόνωση των καυσαερίων, τα οποία παραμένουν σε χημική ισορροπία.

4) Η έξοδος των καυσαερίων γίνεται αδιαβατικά και με σταθερή χημική σύσταση.

5) Η ανάμειξη του νέου μείγματος με τα παραμένοντα στο θάλαμο καύσεως καυσαέρια γίνεται αδιαβατικά, με διατήρηση σταθερής χημικής συστάσεως.

Εκτεταμένα πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι ο βαθμός αποδόσεως και η μέση ενεργή πίεση εξαρτώνται κυρίως από το λόγο συμπιέσεως και το λόγο ισοδυναμίας καυσίμου-αέρα, με τρόπο που θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Στους κύκλους αέρα-καυσίμου, όταν ο λόγος ισοδυναμίας καυσίμου-αέρα μειώνεται κάτω της μονάδας (φτωχά μείγματα) η απόδοση αυξάνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μείωση της ποσότητας του καυσίμου οδηγεί σε μείωση των μεγίστων θερμοκρασιών που εμφανίζονται κατά την καύση και συνεπώς ελαττώνεται και η μείωση του γ (λόγος ειδικών θερμοχωρητικοτήτων). Η σημαντική μείωση του γ με την αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση του βαθμού αποδόσεως του κύκλου (σχ. 4.3α) και προφανώς, σε μείωση του έργου του (σχ. 4.3β).

Ένα σημαντικό φαινόμενο, το οποίο παρατηρείται κατά την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου και το οποίο λαμβάνεται υπόψη στους κύκλους αέρα καυσίμου, είναι το φαινόμενο της ***διαστάσεως των καυσαερίων***, που έχει ήδη αναφερθεί. Διάσταση των καυσαερίων είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο τα προϊόντα της καύσεως διασπώνται, υπό την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών, απορροφώντας ποσά θερμότητας (ενώ η καύση είναι εξώθερμη αντίδραση, η διάσταση που είναι η αντίθετη αντίδραση, είναι ***ενδόθερμη***, πραγματοποιείται δηλαδή με απορρόφηση θερμότητας). Η διάσταση των καυσαερίων, λόγω της απορροφήσεως θερμότητας που προκαλεί, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του κύκλου, οπότε μειώνονται η ισχύς και ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου.

Οι αντιδράσεις της διαστάσεως παρουσιάζονται στη συνέχεια:

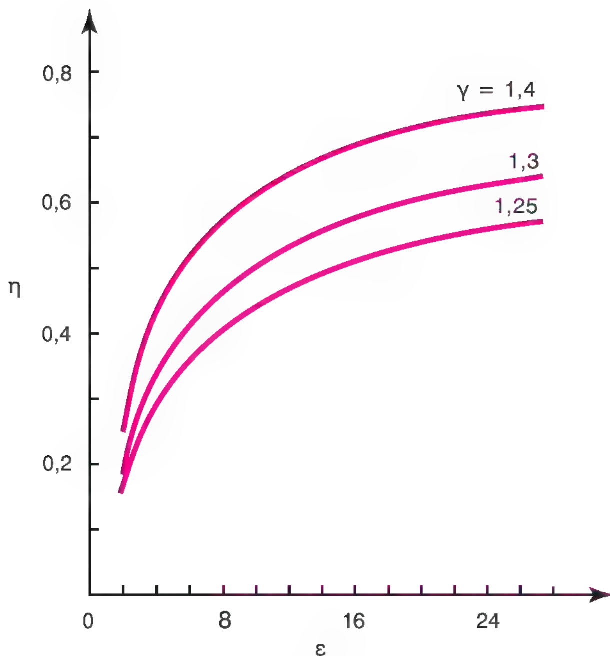


$$2CO_2 \leftrightarrow 2CO + O_2 - Q$$

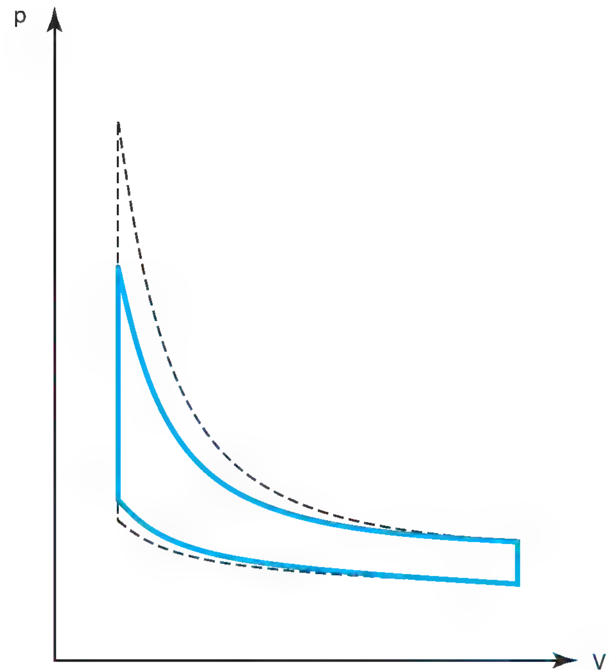


$$2H_2O \leftrightarrow 2H_2 + O_2 - Q$$

Η διάσταση είναι πιο έντονη για στοιχειομετρική αναλογία καυσίμου-αέρα, οπότε και εμφανίζονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες στον κύκλο, που



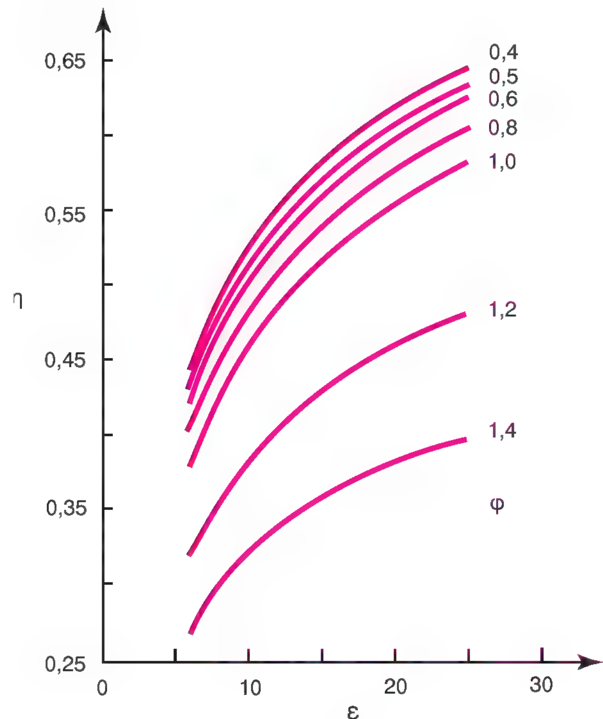
Σχ. 4.3α.
Μεταβολή του θεωρητικού βαθμού αποδόσεως ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα Otto, ως συνάρτηση του λόγου συμπιέσεως και με παράμετρο το λόγο ειδικών θερμοχωρητικοτήτων γ. Όσο μειώνεται το γ, τόσο μειώνεται ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου.



Σχ. 4.3β.
Κύκλος αέρα-καυσίμου Otto (συνεχής γραμμή) και αντίστοιχος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα (διακεκομμένη γραμμή).

ευνοούν τη διάσταση. Στην περίπτωση φτωχών μειγμάτων, η μεγάλη παρουσία οξυγόνου (που ωθεί την αντίδραση προς το μέρος της καύσεως) και οι μικρότερες θερμοκρασίες που εμφανίζονται, μειώνουν το φαινόμενο της διαστάσεως. Στην περίπτωση που ο λόγος ισοδυναμίας καυσίμου-αέρα παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας (πλούσια μείγματα), η ύπαρξη ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα CO στα καυσαέρια εμποδίζει την αύξηση της διαστάσεως, ωθώντας την αντίδραση προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Από τα προηγούμενα γίνεται φανερό, ότι σε φτωχότερα μείγματα αυξάνεται για τον κύκλο αέρα-καυσίμου ο βαθμός αποδόσεως λόγω της μειώσεως της διαστάσεως και λόγω της μειώσεως των θερμοκρασιών (η μείωση αυτή προκαλεί αύξηση του γ) (σχ. 4.3γ). Έτσι, όσο μειώνεται ο λόγος καυσίμου/αέρα (F/A), τόσο ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου αέρα-καυσίμου πλησιάζει το θεωρητικό βαθμό αποδόσεως του κύκλου αέρα (ο οποίος βέβαια δεν εξαρτάται καθόλου από το F/A). Ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου αέρα-καυσίμου βαίνει συνεχώς μειούμενος με την αύξηση του λόγου F/A



Σχ. 4.3γ.
Μεταβολή του βαθμού αποδόσεως η σε σχέση με το λόγο συμπιέσεως ε, με παράμετρο το λόγο ισοδυναμίας καυσίμου φ.

(σχ. 4.3δ), σε αντίθεση με τον πραγματικό κύκλο, ο οποίος εμφανίζει μέγιστο κοντά στη στοιχειομετρική αναλογία.

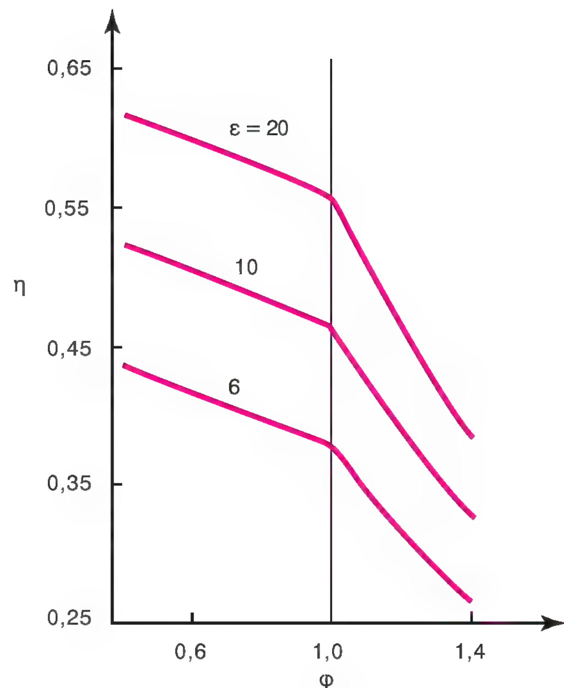
Η μέση ενεργή πίεση του κύκλου αέρα-καυσίμου είναι ανάλογη του λόγου συμπιέσεως. Για σταθερό όμως λόγο συμπιέσεως εμφανίζει μέγιστο για λόγο ισοδυναμίας καυσίμου-αέρα φ λίγο μεγαλύτερο του 1 (δηλαδή για μείγμα λίγο πλουσιότερο από το στοιχειομετρικό). Επειδή το έργο του κύκλου είναι ανάλογο της μέσης ενεργής πιέσεως, το μέγιστο έργο παρατηρείται για τιμή του φ λίγο μεγαλύτερη του 1 (σχ. 4.3ε).

Αντίστοιχα, μέγιστη πίεση και θερμοκρασία (όπως και μέση ενεργή πίεση) επιτυγχάνονται για ελαφρώς πλούσιο μείγμα, ανεξάρτητα του λόγου συμπιέσεως του κύκλου.

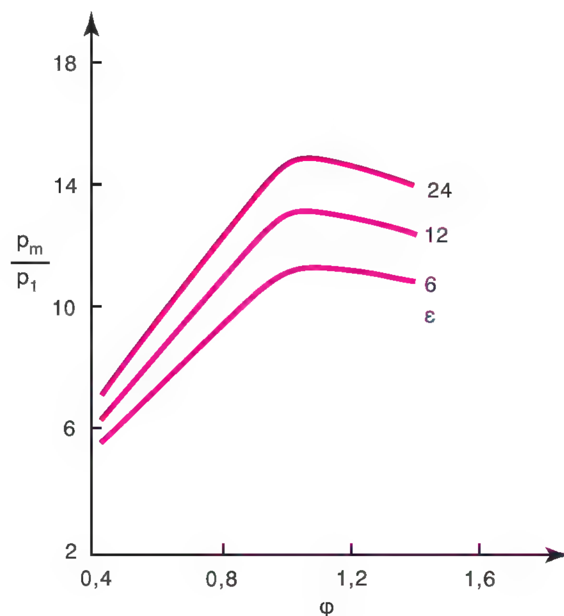
4.3.2 Ισοδύναμοι θεωρητικοί (προσαρμοσμένοι) κύκλοι.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, οι εμβολοφόρες ΜΕΚ αποτελούν μη κυκλικές μηχανές, ακολουθώντας μηχανικό και όχι θερμοδυναμικό κύκλο. Παρ' όλα αυτά, όπως ήδη αναπτύχθηκε, συνηθίζεται να γίνεται η αναγωγή σε έναν θερμοδυναμικώς ισοδύναμο κλειστό κύκλο, τον αντίστοιχο πρότυπο κύκλο, με τη βοήθεια του οποίου είναι δυνατή η εξαγωγή χρησίμων συμπερασμάτων για τη λειτουργία των μηχανών. Έτσι, ο πρότυπος κύκλος που προσαρμόζεται καλύτερα σε έναν υπάρχοντα πραγματικό μηχανικό κύκλο, ονομάζεται ***ισοδύναμος θεωρητικός*** (ή ***προσαρμοσμένος***) ***κύκλος***.

Δεν είναι δυνατός ο μονοσήμαντος ορισμός ενός ισοδύναμου θεωρητικού κύκλου, καθώς είναι άπειροι οι συνδυασμοί ιδανικών προτύπων κύκλων (Otto, Diesel, ή μεικτού), που μπορούν να περιγράψουν προσεγγιστικά τις μεταβολές του εργαζόμενου μέσου ενός πραγματικού κύκλου (ιδανικοί πρότυποι κύκλοι αέρα ή πρότυποι κύκλοι αέρα-καυσίμου). Όσο περισσότερες παραδοχές εγκαταλείπονται, τόσο περισσότερο αυξάνεται η προσαρμογή του ισοδυνάμου θεωρητικού (προσαρμοσμένου) κύκλου στον πραγματικό κύκλο, που πραγματοποιείται εντός της μηχανής. Όμως, ταυτόχρονα, τόσο περισσότερο εξειδικεύεται ο συγκεκριμένος κύκλος για την περιγραφή της συγκεκριμένης μηχανής, χάνοντας η εν λόγω περιγραφή τη γενικότητα που χαρακτηρίζει τους ιδανικούς πρότυπους κύκλους αέρα. Ένα πρώτο βήμα προσαρμογής των ιδανικών προτύπων κύκλων στις πραγματικές μεταβολές που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κινητήρα, αποτελεί ο ***ισοδύναμος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα*** (Otto ή Diesel), ο οποίος θα αναπτυχθεί παρακάτω.



Σχ. 4.3δ.
*Μεταβολή του βαθμού αποδόσεως η σε σχέση με το λόγο ισοδυναμίας καυσίμου **φ**, με παράμετρο το λόγο συμπιέσεως ε.*



Σχ. 4.3ε.
*Μεταβολή της μέσης πιέσεως του κύκλου σε σχέση με το λόγο ισοδυναμίας καυσίμου **φ**, με παράμετρο το βαθμό συμπιέσεως ε.*

Οι προσαρμοσμένοι κύκλοι λαμβάνουν υπόψη

και τη ***συναλλαγή αερίων*** με το περιβάλλον (σε αντίθεση με τους θεωρητικούς θερμοδυναμικούς κύκλους). Η συναλλαγή των αερίων με το περιβάλλον στην περίπτωση του 4-Χ κινητήρα θεωρείται ότι γίνεται ***υπό σταθερές πιέσεις*** και ***αδιαβατικά***, ενώ το άνοιγμα και το κλείσιμο των αντιστοίχων βαλβίδων θεωρείται ότι γίνεται στιγμιαία, στα αντίστοιχα νεκρά σημεία. Έτσι, στην περίπτωση του πετρελαιοκινητήρα ή του βενζινοκινητήρα, που λειτουργεί με τελείως ανοικτή πεταλούδα (πλήρες φορτίο), η πίεση του αέρα εισαγωγής ισούται με την πίεση των καυσαερίων εξαγωγής και είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση (αν ο κινητήρας δεν είναι υπερπληρούμενος). Στην περίπτωση υπερπληρούμενου κινητήρα η πίεση του αέρα εισαγωγής είναι η πίεση υπερπληρώσεως, ενώ η πίεση εξαγωγής είναι η ατμοσφαιρική. Στην περίπτωση βενζινοκινητήρα που λειτουργεί σε μερικό φορτίο, η μισόκλειστη πεταλούδα προκαλεί απώλειες πιέσεως στην εισαγωγή, οπότε η πίεση εισαγωγής είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής. Τα αντίστοιχα τμήματα των διαγραμμάτων, που αναφέρονται στις φάσεις εναλλαγής των αερίων, παρουσιάζονται στο σχήμα 4.3στ.

Ισοδύναμος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα 4-Χ κινητήρα.

Ο ισοδύναμος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα 4-Χ μηχανής σε σχέση με τον πραγματικό κύκλο που προσομοιάζει, θα πρέπει να έχει:

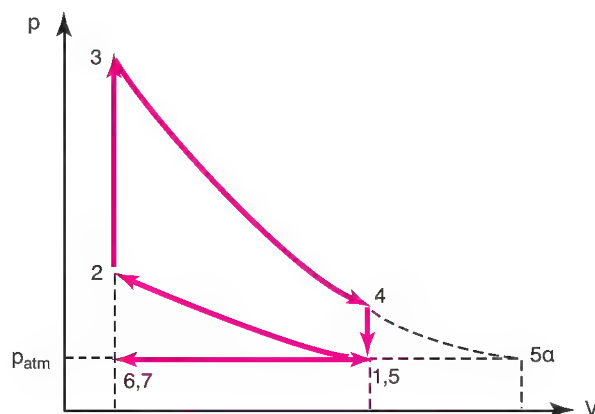
– Παρόμοια αλληλουχία διεργασιών.
– Τον ίδιο λόγο συμπιέσεως.
– Την ίδια πίεση και θερμοκρασία σε συγκεκριμένο σημείο αναφοράς.
– Μία κατάλληλα προσδιορισμένη ποσότητα προσδιδόμενης θερμότητας κατά την αντίστοιχη ή τις αντίστοιχες (για μεικτό κύκλο) μεταβολές. Η θερμότητα αυτή συνήθως, λαμβάνεται ίση με τη θερμότητα που απελευθερώνει η καύση του καυσίμου στον πραγματικό κύκλο.

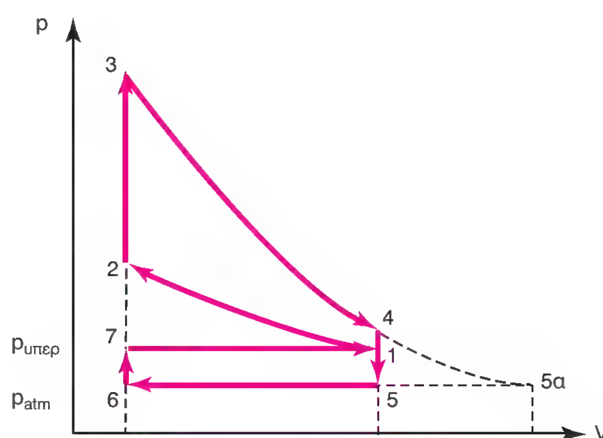
Ο ισοδύναμος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα στηρίζεται στις ακόλουθες παραδοχές (σχ. 4.3στ):

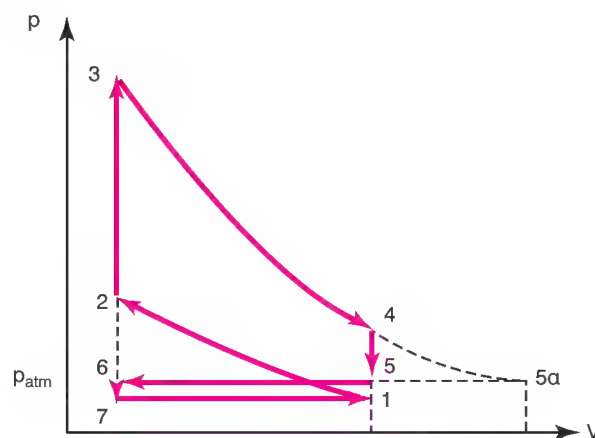
1) Υπάρχει πάντα περίσσεια αέρα (ίση με αυτή της πραγματικής μηχανής), η καύση είναι τέλεια, ενώ δεν παρατηρείται διάσταση των προϊόντων της καύσεως.

2) Το εργαζόμενο μέσο είναι αέρας με σταθερή σύνθεση και ποσότητα κατά τη διάρκεια του κύκλου.

3) Οι ειδικές θερμοχωρητικότητες και ο εκθέτης ισεντροπικής μεταβολής θεωρούνται σταθεροί,







Σχ. 4.3στ.
Ισοδύναμοι κύκλοι Otto για (α) πλήρες φορτίο, (β) με υπερπλήρωση, (γ) μερικό φορτίο (μισόκλειστη πεταλούδα γκαζιού).

λαμβανόμενοι σε μια μέση θερμοκρασία του κύκλου.

4) Η συμπίεση 1-2 και η εκτόνωση 3-4 πραγματοποιούνται αδιαβατικά και αναστρέψιμα (άρα ισεντροπικά).

5) Πραγματοποιείται εναλλαγή των αερίων (σε αντίθεση με τους θερμοδυναμικούς ιδανικούς πρότυπους κύκλους αέρα). Η εναλλαγή αυτή θεωρείται ιδανική, απαλλαγμένη δηλαδή απωλειών. Έτσι η εισαγωγή 7-1 και η εξαγωγή 5-6 θεωρούνται αδιαβατικές και ισόθλιπτες, χωρίς καμιά διαφορά πιέσεως μεταξύ τους. Η παραπάνω παραδοχή τροποποιείται κατάλληλα στην περίπτωση των κινητήρων Otto που λειτουργούν σε μερικά φορτία και στην περίπτωση των υπερπληρωμένων κινητήρων Otto και Diesel.

6) Η καύση πραγματοποιείται αδιαβατικά, κατά ένα τμήμα ισόογκα και κατά ένα δεύτερο τμήμα ισόθλιπτα, κατ' αντιστοιχία, με τον ιδανικό πρότυπο μεικτό κύκλο αέρα, ή μόνο ισόογκα ή ισόθλιπτα (ανάλογα με τον επιλεγμένο θεωρητικό κύκλο).

7) Δεν υπάρχουν μηχανικές απώλειες τριβών.

8) Κατά το τέλος της εξαγωγής ο επιζήμιος όγκος είναι γεμάτος με εργαζόμενο μέσο (αέρα εν προκειμένω, ή καυσαέριο στη γενική περίπτωση).

9) Κατά το τέλος της εισαγωγής ο κύλινδρος θεωρείται πλήρης από αέρα που βρίσκεται σε κατάσταση περιβάλλοντος (ή σε κατάσταση υπερπληρώσεως στην αντίστοιχη περίπτωση), έχοντας αναρροφήσει ανά κύκλο, όγκο αέρα ίσο με τον όγκο εμβολισμού του κυλίνδρου, με την αντίστοιχη πυκνότητα του περιβάλλοντος (ή υπερπληρώσεως).

10) Η ισόογκη αποβολή θερμότητας 4-5 του ιδανικού πρότυπου θερμοδυναμικού μεικτού κύκλου αντικαθίσταται με μια σταθερού όγκου εκροή του εργαζόμενου μέσου στην ατμόσφαιρα 4-5α.

Αποδεικνύεται ότι οι δύο μεταβολές της τελευταίας παραδοχής είναι ενεργειακά ισοδύναμες μεταξύ τους, συνεπώς, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση της γνωστής ισόογκης αποβολής θερμότητας του ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα στη θέση της σταθερού όγκου εκροής αέρα στην ατμόσφαιρα.

Λόγω του τρόπου συγκροτήσεως του ισοδύναμου ιδανικού κύκλου αέρα, θα ισχύουν οι σχέσεις που αναπτύχθηκαν για τον ιδανικό πρότυπο μεικτό κύκλο αέρα και οι αντίστοιχες των θερμοδυναμικών κύκλων Otto και Diesel στις περιπτώσεις που ο μεικτός κύκλος εκφυλίζεται στους αντίστοιχους απλούστερους θερμοδυναμικούς κύκλους.

Ισοδύναμος πρότυπος κύκλος αέρα-καυσίμου.

Ο κύκλος αυτός διατηρεί πολλές από τις παραδοχές του ισοδυνάμου ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα, με τη διαφορά ότι λαμβάνεται υπόψη η πραγματοποίηση της καύσεως κατά μη αναστρέψιμο τρόπο. Ειδικότερα, η καύση θεωρείται αδιαβατική (υπό σταθερή πίεση ή σταθερό όγκο, ή συνδυασμό τους), λαμβάνοντας όμως υπόψη τη χημική ισορροπία των προϊόντων της (διάσταση των καυσαερίων). Ως εργαζόμενο μέσο θεωρείται αέρας ή μείγμα αέρα-καυσίμου μέχρι την έναρξη της καύσεως (με μεταβαλλόμενες ειδικές θερμοχωρητικότητες συναρτήσει της θερμοκρασίας). Μετά το πέρας της καύσεως το εργαζόμενο μέσο είναι καυσαέριο με σύνθεση χημικής ισορροπίας και μεταβλητές, ειδικές θερμοχωρητικότητες.

Η εναλλαγή των αερίων θεωρείται ιδανική (όπως και στον αντίστοιχο ισοδύναμο ιδανικό πρότυπο κύκλο αέρα). Σε μερικές περιπτώσεις λαμβάνεται υπόψη η ανάμειξη του νεοεισερχόμενου εργαζομένου μέσου (αέρας ή μείγμα αέρα-καυσίμου) με τα κατάλοιπα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου.

4.3.3 Ισοδύναμος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα για 2-Χ κινητήρα.

Ειδικά για το δίχρονο κινητήρα πρέπει να γίνει εκτενέστερη ανάλυση του ισοδυνάμου ιδανικού κύκλου αέρα, λόγω της απουσίας της φάσεως εναλλαγής των αερίων σε ξεχωριστούς χρόνους και της παρουσίας των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Οι υπόλοιπες παραδοχές είναι οι ίδιες που ισχύουν για τον 4-Χ κινητήρα, όπως αναλύθηκαν προηγουμένως.

Στο σχήμα 4.3ζ παρουσιάζεται ένας μεικτός θεωρητικός ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα (123451). Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται οι πραγματικές μεταβολές που συμβαίνουν στην περιοχή του κάτω νεκρού σημείου. Με το άνοιγμα των θυρίδων εξαγωγής η πίεση στον κύλινδρο αρχίζει να πέφτει με μεγαλύτερη κλίση, καταλήγοντας σε μία πίεση p_σ τη στιγμή που ανοίγουν οι θυρίδες εισαγωγής, περίπου 20% έως 30% μεγαλύτερη της πιέσεως p_α του περιβάλλοντος (για μη υπερπληρούμενη μηχανή). Κατά τη χρονική περίοδο που οι θυρίδες εξαγωγής, αλλά και οι θυρίδες εισαγωγής είναι ανοικτές, θεωρούμε ότι η πίεση είναι σταθερή και ίση με p_σ.

Για την καλύτερη περιγραφή του κύκλου πρέπει να ληφθεί υπόψη η μείωση του ωφέλιμου όγκου του

κυλίνδρου λόγω της παρουσίας του θυρίδων σαρώσεως και εξαγωγής. Έτσι χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι ορισμοί:

V_h: ***ολικός όγκος εμβολισμού*** (όπως και στους 4-Χ κινητήρες).

$V_{h\xi}$: ***ουσιαστικός όγκος εμβολισμού***, ο οποίος αντιστοιχεί στον όγκο εμβολισμού πάνω από τον άνω όριο των θυρίδων εξαγωγής.

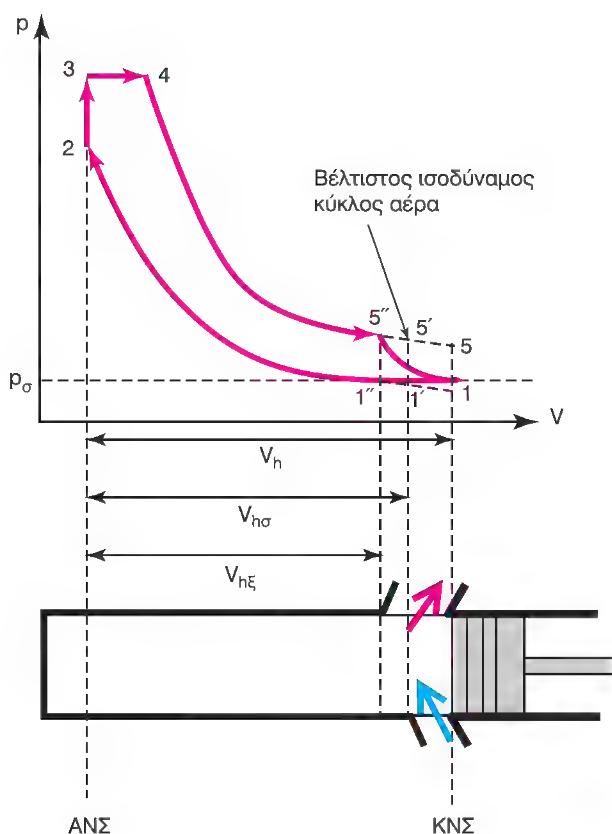
$V_{h\sigma}$: ***συμβατικός όγκος εμβολισμού***, ο οποίος αντιστοιχεί στον όγκο εμβολισμού πάνω από το άνω όριο των θυρίδων εισαγωγής.

σ_ξ: ***σχετικό άνοιγμα εξαγωγής***, που δίνει το λόγο του ύψους των θυρίδων εξαγωγής προς τη διαδρομή του εμβόλου.

σ_σ: ***σχετικό άνοιγμα εισαγωγής***, που δίνει το λόγο του ύψους των θυρίδων σαρώσεως προς τη διαδρομή του εμβόλου.

Ο ουσιαστικός όγκος εμβολισμού δίδεται προφανώς:

$$V_{h\xi} = (1-\sigma_\xi)V_h$$



Σχ. 4.3ζ.
Ισοδύναμος μεικτός κύκλος αέρα για δίχρονο κινητήρα.

ενώ αντίστοιχα ο συμβατικός όγκος εμβολισμού δίδεται:

$$V_{h\sigma} = (1-\sigma_\sigma)V_h$$

Αντίστοιχα ορίζονται ο ***τυπικός βαθμός συμπιέσεως ε***:

$$\varepsilon = (V_c + V_h)/V_c$$

ο ***ουσιαστικός βαθμός συμπιέσεως*** ε_ξ:

$$\varepsilon_\xi = (V_c + V_{h\xi})/V_c$$

και ο ***συμβατικός βαθμός συμπιέσεως*** ε_σ:

$$\varepsilon_\sigma = (V_c + V_{h\sigma})/V_c$$

Για τη συγκρότηση του ισοδύναμου ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα δεν είναι σωστό να χρησιμοποιηθεί ο τυπικός βαθμός συμπιέσεως (κύκλος ***123451***), αφού η συμπίεση ξεκινά μετά το κλείσιμο των θυρίδων εξαγωγής. Ένας βαθμός συμπιέσεως ίσος με τον ε_ξ (κύκλος ***1΄΄2345΄΄1΄΄***) δεν θα λάμβανε υπόψη το θετικό εμβαδόν που υπάρχει, όταν μόνο οι θυρίδες εξαγωγής είναι ανοικτές. Καλύτερη επιλογή είναι ένας βαθμός συμπιέσεως κοντά ή ίσος με το συμβατικό βαθμό συμπιέσεως ε_σ. Έτσι, ενώ ο πραγματικός κύκλος λειτουργεί μεταξύ των όγκων που ορίζει ο πραγματικός όγκος εμβολισμού (δηλαδή μεταξύ V_c και V_c+V_h), ο ισοδύναμος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα, για να προσεγγίσει καλύτερα την πραγματική λειτουργία, θα πρέπει να λειτουργεί μεταξύ του επιζήμιου όγκου V_c και του όγκου $V_c+V_{h\sigma}$ (κύκλος ***1΄2345΄1΄***).

4.4 Πραγματικοί κύκλοι.

4.4.1 Δυναμοδεικτικό διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας.

Ο πραγματικός κύκλος μιας εμβολοφόρου ΜΕΚ μπορεί να περιγραφεί πλήρως, μόνο, αν γνωρίζομε ακριβώς την κατάσταση του εργαζόμενου μέσου κάθε χρονική στιγμή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συνεχείς μετρήσεις διαφόρων μεγεθών σε ολόκληρο τον όγκο του κυλίνδρου (όπως πίεση, θερμοκρασία και διάνυσμα ταχύτητας σε κάθε σημείο του κυλίνδρου).

Αν θεωρήσομε ότι υφίσταται θερμοδυναμική ισορροπία εντός του κυλίνδρου, κάθε χρονική στιγμή (και αμεληθούν προς στιγμή οι ταχύτητες του εργαζόμενου μέσου), η περιγραφή της καταστάσεως μπορεί να γίνει με ένα ζεύγος θερμοδυναμικών μεγεθών, όπως για παράδειγμα η πίεση p και η θερμοκρασία T, ή η πίεση p και ο ειδικός όγκος v

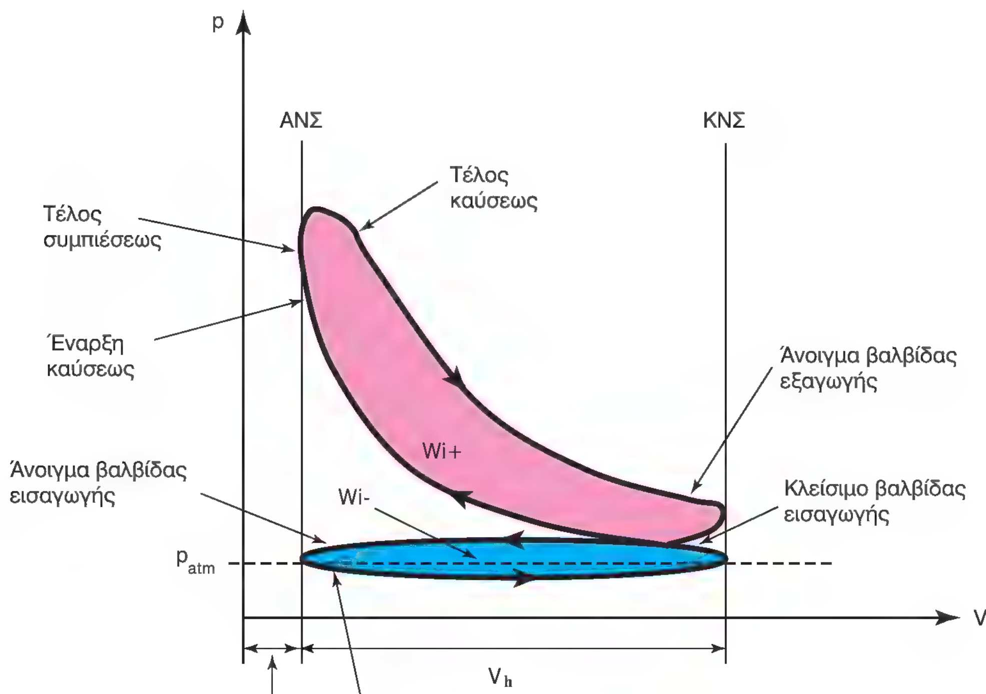
(το αντίστροφο της πυκνότητας ρ). Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα δύσκολη, ενώ παράλληλα η θερμοκρασία εμφανίζει σημαντική μεταβολή από σημείο σε σημείο εντός του κυλίνδρου. Επίσης, κατά τις φάσεις συναλλαγής των αερίων (εισαγωγή, εξαγωγή) είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η μάζα m εντός του κυλίνδρου, μέσω της οποίας υπολογίζεται ο ειδικός όγκος v=V/m.

Η συνήθης μέτρηση που μπορεί να γίνει στο εσωτερικό του κυλίνδρου κατά τη λειτουργία της μηχανής, είναι η λήψη του ***δυναμοδεικτικού διαγράμματος*** λειτουργίας του κινητήρα (σχ. 4.4α και 4.4β). Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα μας δίνει την τιμή της πιέσεως p σε κάθε θέση του εμβόλου x (διάγραμμα p-x). Επειδή η θέση του εμβόλου συνδέεται με τον όγκο του κυλίνδρου με τη σχέση

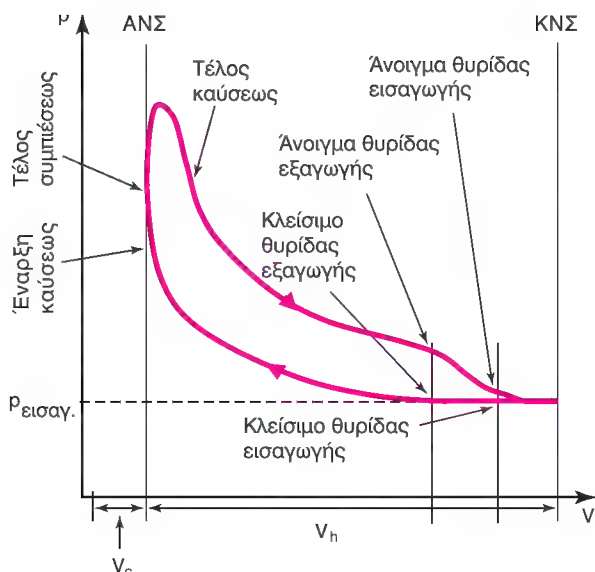
$$V = V_c + Ax = V_c + (\frac{\pi D^2}{4})x$$

όπου D η διάμετρος του κυλίνδρου, από το διάγραμμα p-x μπορεί εύκολα να προκύψει το διάγραμμα p-V. Ένας άλλος τρόπος λήψεως του διαγράμματος της πιέσεως είναι ως συνάρτηση της γωνίας στροφάλου φ.

Το διάγραμμα p-x ή p-V λαμβάνεται με τη χρήση ***μηχανικού δυναμοδείκτη*** (σχ. 4.4γ). Ο μηχανικός δυναμοδείκτης είναι μία συσκευή, η οποία προσαρμόζεται στο δυναμοδεικτικό κρουνό του πώματος και επικοινωνεί με τον κύλινδρο μέσω οπής και βάνας. Η πίεση του κυλίνδρου μετακινεί ένα μικρό έμβολο, η κίνηση του οποίου εμποδίζεται από ένα επανατατικό ελατήριο συγκεκριμένης σταθεράς. Η μετακίνηση του μικρού εμβόλου είναι ανάλογη της πιέσεως στο εσωτερικό του κυλίνδρου, με σταθερά αναλογίας τη σταθερά του ελατηρίου. Η μετακίνηση του μικρού εμβόλου μεταβιβάζεται με σύστημα μοχλών σε μία γραφίδα, η οποία καταγράφει την κίνηση του μικρού εμβόλου σε ειδικό χαρτί που τυλίγεται σε ένα τύμπανο. Το τύμπανο αυτό περιστρέφεται γύρω από άξονα, ενώ ένα επανατατικό ελατήριο τείνει να το επαναφέρει στην αρχική του θέση. Η περιστροφή του πραγματοποιείται με τη χρήση βοηθητικού μηχανισμού σε συγχρονισμό με την κίνηση του εμβόλου τη μηχανής (παίρνοντας κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα ή από το ζύγωμα, ή από βοηθητικό μηχανισμό). Ένα λεπτό σχοινί που τυλίγεται σε τροχαλία συνδεδεμένη με το τύμπανο συνδέεται στο βοηθητικό μηχανισμό που ακολουθεί την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα (π.χ. εκκεντροφόρος αντλιών καυσίμου). Έτσι, η περιστροφική κίνηση του τυμπά-



Σχ. 4.4α.
Δυναμοδεικτικό διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας τετράχρονου κινητήρα.



Σχ. 4.4β.
Δυναμοδεικτικό διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας δίχρονου κινητήρα.

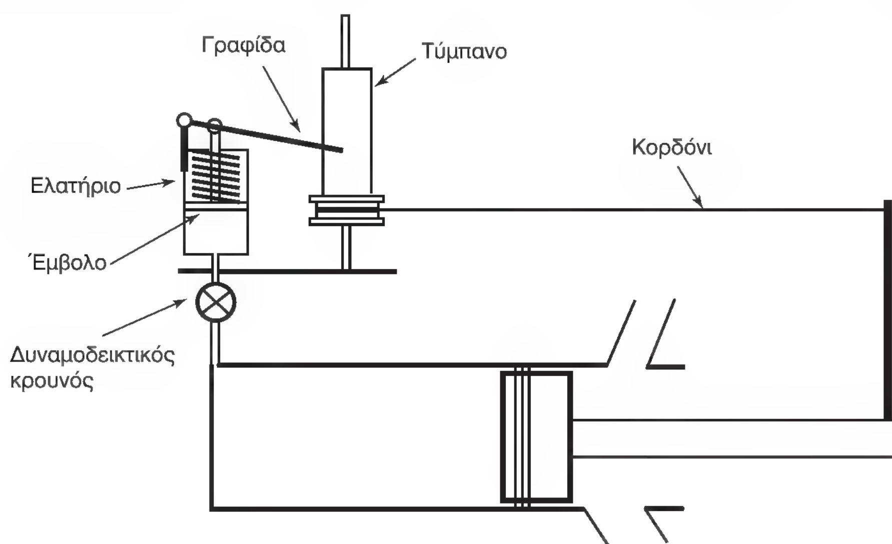
νου αναλογεί στην απόσταση x που διανύει το έμβολο ή στον όγκο V που σαρώνει. Η γραμμική κίνηση της γραφίδας αντιστοιχεί στη μεταβολή της πιέσεως p εντός του κυλίνδρου της μηχανής. Η κλίμακα της πιέσεως στο διάγραμμα που προκύπτει, εξαρτάται από τη σταθερά του ελατηρίου, ενώ η κλίμακα της αποστάσεως x εξαρτάται από τη γεωμετρία του βοηθητικού μηχανισμού, που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του τυμπάνου.

Το σύστημα του μηχανικού δυναμοδείκτη, επειδή συμπεριλαμβάνει κινούμενες μάζες, έχει το μειονέκτημα της αυξημένης αδράνειας, οπότε είναι κατάλληλο για μικρές ταχύτητες περιστροφής (n < 1000 rpm - μεγάλες αργόστροφες μηχανές). Επειδή δίνει κατ' ευθείαν το διάγραμμα p-x έχει το πλεονέκτημα του εύκολου καθορισμού των ΑΝΣ και ΚΝΣ, τα οποία και αντιστοιχούν στα ακραία σημεία του διαγράμματος.

Το διάγραμμα p-φ λαμβάνεται με τη χρησιμοποίηση ***ηλεκτρονικού δυναμοδείκτη***. Ο ηλεκτρονικός δυναμοδείκτης αποτελείται από ένα μορφοτροπέα πιέσεως (pressure transducer), ο οποίος συνδέεται σε κατάλληλη υποδοχή του πώματος του κυλίνδρου και μετατρέπει την πίεση εντός του κυλίνδρου σε ένταση ή τάση ως συνάρτηση της γωνίας στροφάλου φ στην οθόνη παλμογράφου (ή ηλεκτρονικού υπολογιστή). Το πλεονέκτημα της συσκευής είναι η απουσία μηχανικής αδράνειας, κάτι που επιτρέπει τη χρήση της συσκευής σε πολύστροφες μηχανές. Το μειονέκτημα της συσκευής είναι η δυσχέρεια στον καθορισμό των ΑΝΣ και ΚΝΣ, λόγω της χρησιμοποιήσεως της γωνίας στροφάλου ως μεταβλητής. Το μειονέκτημα αυτό διορθώνεται με τη χρησιμοποίηση ανιχνευτή για το ΑΝΣ (δημιουργώντας κατάλληλη εγκοπή στο σφόνδυλο της μηχανής).

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα λειτουργίας είναι πολύτιμο, γιατί δίνει τη δυνατότητα άμεσου υπολογισμού του ***ενδεικνύμενου έργου*** W_i. Το ενδεικνύμενο έργο είναι το μηχανικό έργο ογκομεταβολής σε μια πλήρη περίοδο λειτουργίας και εκφράζεται ως:

$$W_i = \oint p dV = A \oint p dx$$



Σχ. 4.4γ.
Σκαρίφημα μηχανικού δυναμοδείκτη συνδεδεμένου σε δίχρονη ΜΕΚ.

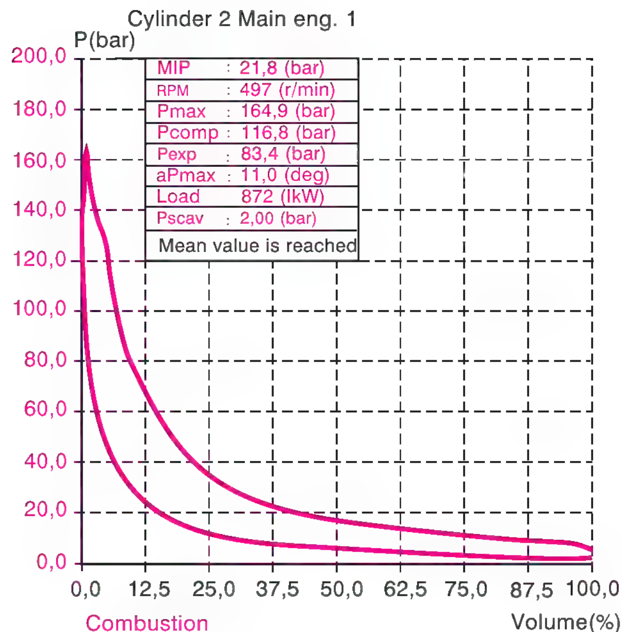
όπου A είναι το εμβαδόν της διατομής του κυλίνδρου $A = \frac{\pi D^2}{4}$ με D τη διάμετρο του κυλίνδρου.

Το ενδεικνύμενο έργο προκύπτει άμεσα από το διάγραμμα p-x με εμβαδομέτρηση, ενώ αυτό δεν συμβαίνει με το διάγραμμα p-φ, το οποίο πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε διάγραμμα p-x, για να είναι δυνατός ο υπολογισμός του W_i.

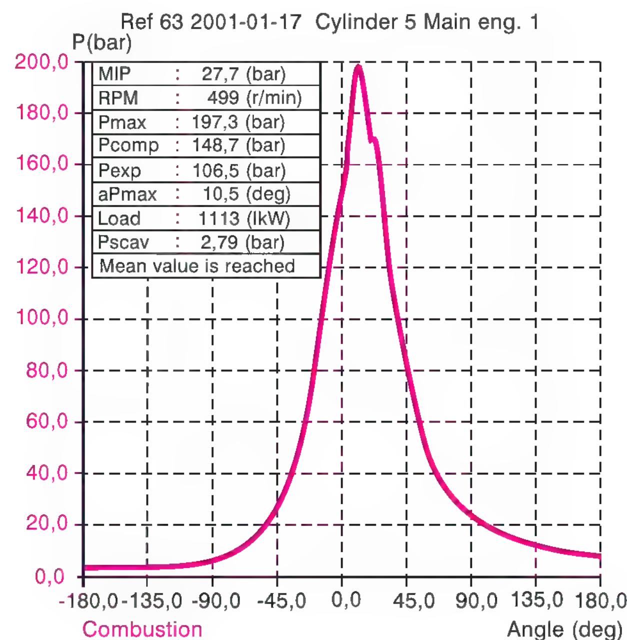
Η λήψη του δυναμοδεικτικού διαγράμματος είναι ιδιαίτερα ουσιαστική υπόθεση. Εκτός της δυνατότητας υπολογισμού του ενδεικνύμενου έργου που παρέχει, αποτελεί ουσιαστικό εργαλείο για τη διάγνωση βλαβών σε κάθε κύλινδρο.

Η σύγκριση του δυναμοδεικτικού διαγράμματος με το πρότυπο διάγραμμα του κάθε κυλίνδρου δίνει τη δυνατότητα να διαγνωστούν έγκαιρα και με αξιοπιστία συγκεκριμένες βλάβες της μηχανής (όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο).

Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις εμβολοφόρων μηχανών μεγάλης ισχύος (πλοία και ηλεκτροπαραγωγά ζεύξη) είναι εφοδιασμένες με εξελιγμένα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών για την εύκολη λήψη των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων p-φ και την αυτόματη μετατροπή τους σε διαγράμματα p-V. Η εμβαδομέτρηση για τον υπολογισμό του ενδεικνύμενου έργου γίνεται αυτόματα, από το οποίο στη συνέχεια υπολογίζονται και άλλες παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα (όπως θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενες παραγράφους). Στα σχήματα 4.4δ και 4.4ε φαίνονται δύο τέτοια δυναμοδεικτικα διαγράμματα (p-V και p-φ) από κυλίνδρους μεσόστροφης τετράχρονης ναυτικής πετρελαιομηχανής, σε δύο διαφορετικά σημεία λειτουργίας.



Σχ. 4.4δ.
Δυναμοδεικτικό διάγραμμα p-V του 2ου κυλίνδρου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής πλοίου (θετικός βρόγχος).



Σχ. 4.4ε.
Δυναμοδεικτικό διάγραμμα p-φ του 5ου κυλίνδρου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής πλοίου σε διαφορετικό σημείο λειτουργίας από το προηγούμενο (μόνο 2 από τους 4 χρόνους, συμπίεση, καύση-εκτόνωση).

4.4.2 Η πραγματική φάση εναλλαγής των αερίων στον 4-X κινητήρα.

Η φάση εναλλαγής των αερίων είναι η περίοδος εκείνη, κατά την οποία ο κύλινδρος εκκενώνεται από τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου και στη συνέχεια πληρώνεται με τον αέρα (ή μείγμα αέρα καυσίμου) για την εκτέλεση του νέου κύκλου. Στον πραγματικό κύκλο (σχ. 4.4α) η εναλλαγή των αερίων δεν γίνεται ακαριαία στα νεκρά σημεία, όπως είχαμε υποθέσει στους ιδανικούς κύκλους. Για τη σωστή εκτέλεση της συγκεκριμένης φάσεως, σημαντικό ρόλο παίζει ο σωστός χρονισμός του ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.

Σε ένα τετράχρονο κινητήρα η περίοδος εκροής ξεκινάει με το άνοιγμα των βαλβίδων εξαγωγής, αρκετές μοίρες γωνίας στροφάλου πριν το ΚΝΣ. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού εμφανίζεται απώλεια ωφέλιμου έργου, το οποίο θα κερδίζαμε, αν η εκτόνωση γινόταν κανονικά μέχρι το ΚΝΣ, χωρίς το πρόωρο άνοιγμα των βαλβίδων εξαγωγής. Το άνοιγμα των βαλβίδων συνοδεύεται από πτώση της πιέσεως εντός του κυλίνδρου. Η πτώση όμως αυτή της πιέσεως μειώνει το αναγκαίο έργο, που καταναλώνεται για την εξώθηση των καυσαερίων κατά την άνοδο του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ. Έτσι, η προπορεία του ανοίγματος των βαλβίδων εξαγωγής αφ' ενός μειώνει το ωφέλιμο έργο λόγω της πρόωρης πτώσεως της πιέσεως, αφ' ετέρου εξοικονομεί ωφέλιμο έργο, λόγω της μειώσεως του έργου εξωθήσεως. Έτσι, υπάρχει πάντα κάποια βέλτιστη χρονική στιγμή για το άνοιγμα των βαλβίδων εξαγωγής, που δίνει το μέγιστο ωφέλιμο έργο. Από τη στιγμή του ανοίγματος των βαλβίδων εξαγωγής μέχρι το ΚΝΣ, η ροή των καυσαερίων πραγματοποιείται λόγω της διαφοράς πιέσεως μεταξύ του κυλίνδρου και της ατμόσφαιρας.

Όταν το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, ουσιαστικά εκτοπίζει τα καυσαέρια, και η πίεση εντός του κυλίνδρου καθορίζεται από τις απώλειες πιέσεως στο κύκλωμα εξαγωγής (τάξεως μεγέθους 0,1 bar). Όσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες στο κύκλωμα εξαγωγής (τραχείς σωλήνες, απότομες αλλαγές διευθύνσεως, στενοί σωλήνες) τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση εντός του κυλίνδρου και άρα τόσο μεγαλύτερο το αναγκαίο έργο εξωθήσεως των καυσαερίων. Κατά τη φάση αυτή τα θερμά καυσαέρια, λόγω και της υψηλής τους ταχύτητας μεταβιβάζουν θερμότητα προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου, προς τις βαλβίδες εξαγωγής και προς τους αγωγούς εξαγωγής. Η περίοδος της εξαγωγής τελειώνει με το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής, λίγες μοίρες, πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ.

Οι βαλβίδες εισαγωγής ανοίγουν, πριν κλείσουν οι βαλβίδες εξαγωγής, δημιουργώντας έτσι μια ***φάση επικαλύψεως*** ή διασταυρώσεως των βαλβίδων. Οι πρώτες ανοίγουν πριν το ΑΝΣ, ενώ οι δεύτερες κλείνουν μετά το ΑΝΣ. Οι βαλβίδες εισαγωγής ανοίγουν πριν το ΑΝΣ έτσι ώστε, όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ και αρχίσει να κατεβαίνει, να είναι πλήρως ανοικτές για τη διευκόλυνση της αναρροφήσεως του αέρα (ή του μείγματος αέρα - καυσίμου). Οι βαλβίδες εξαγωγής κλείνουν τελείως μετά το ΑΝΣ, διότι εάν άρχιζε νωρίτερα το κλείσιμό τους θα δημιουργούνταν αύξηση της πιέσεως εντός του κυλίνδρου, η οποία και θα ωθούσε τα καυσαέρια προς τον οχετό εισαγωγής, χειροτερεύοντας έτσι την απόπλυση του κυλίνδρου (αφού τα συγκεκριμένα καυσαέρια θα επέστρεφαν στον κύλινδρο κατά τη φάση εισαγωγής).

Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στους κινητήρες Otto, όταν λειτουργούν σε μερικό φορτίο, λόγω του κλεισίματος της πεταλούδας. Η πτώση πιέσεως που δημιουργεί η μισόκλειστη πεταλούδα δημιουργεί υποπίεση στο πίσω μέρος της σε σχέση με το εσωτερικό του κυλίνδρου, αναρροφώντας τα καυσαέρια εντός του οχετού εισαγωγής. Τα καυσαέρια αυτά θα αναμειχθούν στη συνέχεια με το εισερχόμενο μείγμα, κατά την κάθοδο του εμβόλου. Όσο πιο μικρό είναι το φορτίο του κινητήρα, τόσο πιο έντονο είναι το φαινόμενο, ενώ αντίθετα σε πλήρες φορτίο το φαινόμενο σχεδόν εκμηδενίζεται. Κατά τη φάση αυτή της επικαλύψεως των βαλβίδων, με την εισροή του αέρα (ή του μείγματος) πραγματοποιείται απόπλυση του κυλίνδρου από το καυσαέριο του προηγούμενου κύκλου, το οποίο εγκλωβίζεται στο χώρο μεταξύ εμβόλου και πώματος (ή εντός του οχετού εισαγωγής σε κινητήρες Otto με μερικό φορτίο). Η απόπλυση αυτή είναι σχεδόν πλήρης στην περίπτωση των κινητήρων Diesel και στην περίπτωση των κινητήρων Otto με πλήρες φορτίο.

Στην περίπτωση που οι κινητήρες διαθέτουν στροβιλοϋπερπληρωτή, η φάση επικαλύψεως είναι μεγαλύτερη και η απόπλυση εντονότερη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, την προστασία των βαλβίδων εξαγωγής και του στροβίλου από την υψηλή θερμοκρασία αλλά και την καλύτερη εκμετάλλευση των παλμών πιέσεως (στα αντίστοιχα συστήματα, όπως θα αναλυθεί λεπτομερώς σε αντίστοιχο κεφάλαιο).

Η φάση της εισαγωγής αρχίζει με το κλείσιμο των βαλβίδων εξαγωγής, λίγο μετά το ΑΝΣ. Λόγω των απωλειών στους οχετούς εισαγωγής, η πίεση εντός του κυλίνδρου είναι μικρότερη της πιέσεως στην εισαγωγή (η οποία είναι είτε η ατμοσφαιρική είτε η πίεση υπερπληρώσεως για τους αντίστοιχους κινητήρες). Η πτώση αυτή της πιέσεως είναι περίπου ίση με 0,1 bar στους κινητήρες Diesel ή στους κινητήρες Otto που λειτουργούν με πλήρες φορτίο. Στους κινητήρες Otto που λειτουργούν σε μερικό φορτίο, η μισόκλειστη πεταλούδα αυξάνει τις απώλειες πιέσεως, με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη πτώ-

ση της πιέσεως εντός του κυλίνδρου. Στο τέλος της φάσεως εισαγωγής (όταν οι βαλβίδες εισαγωγής κλείνουν μετά το ΚΝΣ) η πίεση εντός του κυλίνδρου είναι περίπου ίση με την πίεση αναρροφήσεως (ατμοσφαιρική ή πίεση υπερπληρώσεως αντίστοιχα).

Η διαφορά πιέσεως μεταξύ φάσεως εισαγωγής και εξαγωγής δημιουργεί στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα λειτουργίας ένα ***βρόγχο***, το εμβαδόν του οποίου δίνει ***το αρνητικό έργο*** που καταναλώνεται για την έξοδο των καυσαερίων και την εισροή του αέρα κατά τις αντίστοιχες φάσεις (σχ. 4.4α). Το αρνητικό αυτό έργο παρέχεται από το σφόνδυλο του κινητήρα (και τους υπόλοιπους κυλίνδρους) και προφανώς πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Η μείωσή του επιτυγχάνεται με τη μείωση των απωλειών της πιέσεως κατά τη διέλευση του αέρα μέσα από τους αγωγούς εισαγωγής και των καυσαερίων από τους αγωγούς εξαγωγής (με κατάλληλη εσωτερική λείανση, αύξηση των ακτίνων καμπυλότητας, μείωση του μήκους των σωλήνων και αύξηση της διαμέτρου τους). Η μείωση των απωλειών μειώνει τη διαφορά των αντιστοίχων πιέσεων από την πίεση αναρροφήσεως και μειώνει τελικά το ύψος του αρνητικού βρόγχου, άρα μειώνεται το εμβαδόν του. Για τον υπολογισμό του ενδεικνύμενου έργου τετράχρονου κινητήρα πρέπει από το θετικό έργο του αντίστοιχου βρόγχου να αφαιρεθεί το έργο του αρνητικού βρόγχου.

Ο εισερχόμενος στον κύλινδρο αέρας έρχεται σε επαφή με τα θερμά τοιχώματα και τα θερμά καυσαέρια, οπότε θερμαίνεται (περίπου κατά 30-60 K). Η μικρή αυτή θέρμανση του αέρα προκαλεί μικρή μείωση του βαθμού αποδόσεως του κινητήρα, προκαλεί όμως σημαντική μείωση στην ισχύ του κινητήρα, λόγω της διαστολής του αέρα, που προκαλείται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η διαστολή αυτή (μείωση της πυκνότητας) έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη μάζα αέρα να εισέρχεται στο δεδομένο όγκο του κυλίνδρου, άρα και να καίγεται λιγότερο καύσιμο. Η παραπάνω μείωση της εισερχομένης ποσότητας αέρα εκφράζεται με το ***βαθμό πληρώσεως*** η_λ, ο οποίος δίδεται για τετράχρονο κινητήρα:

$$\eta_\lambda = \frac{m_o}{m_\alpha}$$

όπου m_o η πραγματική μάζα του αέρα εντός του κυλίνδρου στην αρχή της συμπιέσεως και m_α η μάζα του αέρα στον όγκο εμβολισμού σε συνθήκες εισόδου (ατμοσφαιρικές συνθήκες), δηλαδή η μάζα του αέρα που θα πλήρωνε τον όγκο εμβολισμού υπό ιδανικές συνθήκες.

Ο λόγος αυτός ισούται περίπου με το λόγο των πυκνοτήτων:

$$\eta_\lambda = \frac{\varrho_o}{\varrho_\alpha}$$

4.4.3 Η φάση εναλλαγής των αερίων στον 2-Χ κινητήρα.

Η εναλλαγή των αερίων στο δίχρονο κινητήρα δεν πραγματοποιείται σε ξεχωριστούς χρόνους, αλλά με τη βοήθεια αντλίας σαρώσεως, όταν το έμβολο βρίσκεται κοντά στο ΚΝΣ. Συνεπώς ο αρνητικός βρόγχος της εναλλαγής των αερίων απουσιάζει από το δυναμοδεικτικό διάγραμμα (σχ. 4.4β).

Μετά το άνοιγμα των θυρίδων εξαγωγής η πίεση στον κύλινδρο πέφτει απότομα και μάλιστα, μερικές φορές κάτω από την πίεση εξαγωγής, λόγω της αδράνειας των καυσαερίων. Με το άνοιγμα των θυρίδων εισαγωγής, καθαρός αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο (ωθούμενος από την αντλία σαρώσεως). Η μεγαλύτερη πίεση σαρώσεως αναγκάζει τα καυσαέρια να εξέρχονται συνεχώς προς την εξαγωγή (παράλληλα αυτά εξωθούνται και λόγω της αδρανειακής τους κινήσεως).

Οι θυρίδες εξαγωγής πρέπει να ανοίξουν αρκετές μοίρες πριν το ΚΝΣ, έτσι ώστε η πίεση να πέσει αρκετά και να γίνει πρακτικά ίση με την πίεση εξαγωγής, όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ. Αυτό είναι απαραίτητο για να μην υπάρχει περίπτωση τα καυσαέρια λόγω υψηλής πιέσεως να εισέλθουν στον αγωγό εισαγωγής. Στην ιδανική περίπτωση, ο κύλινδρος στο ΚΝΣ πληρώνεται με αέρα (ή μείγμα αέρα-καυσίμου) θερμοκρασίας ίδιας με τη θερμοκρασία εισόδου και πιέσεως ίδιας με την πίεση εξόδου. Στην πραγματικότητα όμως ο αέρας θερμαίνεται κατά την εισαγωγή του, ενώ τμήμα του εισερχομένου αέρα (ή μείγματος) διαφεύγει από τις θυρίδες εξαγωγής. Για να περιγραφεί η διαδικασία πληρώσεως του δίχρονου κινητήρα χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι ορισμοί.

Ο ***τυπικός βαθμός πληρώσεως*** δίχρονου κινητήρα ορίζεται ως:

$$\eta_\lambda = \frac{m_o}{m_\alpha} = \frac{(V_{h\xi} + V_c)\rho_o}{(V_h + V_c)\rho_\alpha} = (1 - \sigma_\xi)\frac{\rho_o}{\rho_\alpha} = $$
$$= (1 - \sigma_\xi)\frac{p_o / T_o}{p_\alpha / T_\alpha}$$

Η τελευταία ισότητα στην παραπάνω σχέση δεν ισχύει για βενζινοκινητήρες σε μερικά φορτία

(κλειστή πεταλούδα).

Ο ***ουσιαστικός βαθμός πληρώσεως*** δίχρονου κινητήρα ορίζεται ως:

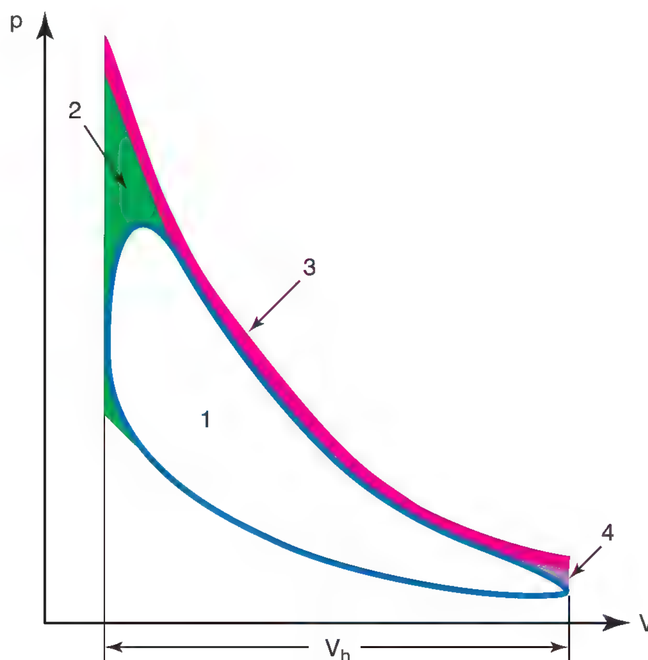
$$\eta_{\lambda\xi} = \frac{\varrho_o V_{h\xi}}{\varrho_\alpha V_{h\xi}} = \frac{\varrho_o}{\varrho_\alpha}$$

Γενικά ο βαθμός πληρώσεως παίρνει τιμές μεταξύ 0,75 και 0,90 (όταν δεν υπάρχει πρόσθετος στραγγαλισμός της ροής στην είσοδο λόγω της παρουσίας της πεταλούδας σε μερικά φορτία). Ο βαθμός πληρώσεως είναι πρακτικά ανεξάρτητος του βαθμού συμπιέσεως, ενώ αυξάνεται με το λόγο αέρα καυσίμου, επειδή μειώνεται η θερμοκρασία στα τοιχώματα. Αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (μειώνεται η διαφορά θερμοκρασίας), ενώ μειώνεται με την αύξηση των στροφών της μηχανής. Το τελευταίο είναι αποτέλεσμα της αυξήσεως της ταχύτητας του αέρα. Λόγω αυτής της αυξήσεως, προκαλείται αύξηση των απωλειών πιέσεως εντός του οχετού εισαγωγής, ενώ επιπλέον αυξάνεται και ο ρυθμός μεταδόσεως θερμότητας από τα θερμά τοιχώματα προς τον ψυχρό αέρα.

4.4.4 Η φάση συμπιέσεως.

Στον πραγματικό κύκλο η συμπίεση δεν είναι ισεντροπική, διότι το εργαζόμενο μέσο δεν είναι τέλειο αέριο ούτε τα τοιχώματα είναι πλήρως αδιαβατικά. Αντίθετα, παρατηρείται απώλεια θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων του κυλίνδρου και απώλεια εργαζόμενου μέσου, επειδή δεν υπάρχει απόλυτη στεγανοποίηση του κυλίνδρου (απώλειες μέσα από τις βαλβίδες και τα ελατήρια του εμβόλου στην περίπτωση αυξημένης φθοράς τους και συσσωρεύσεως εξανθρακωμάτων στις έδρες των βαλβίδων). Λόγω της περίπου σταθερής μέσης θερμοκρασίας των τοιχωμάτων του κυλίνδρου στην αρχή της συμπιέσεως υπάρχει ροή θερμότητας από τα τοιχώματα προς το εργαζόμενο μέσο. Όταν η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου, λόγω της συμπιέσεως υπερβαίνει τη θερμοκρασία των τοιχωμάτων, υπάρχει αντίθετη ροή θερμότητας από το εργαζόμενο μέσο προς τα τοιχώματα. Αποτέλεσμα αυτής της εναλλαγής στη ροή θερμότητας είναι το γεγονός ότι τελικά η πραγματική συμπίεση δεν διαφέρει ουσιαστικά από την αντίστοιχη ισεντροπική όσον αφορά στο συνολικό έργο (σχ. 4.4στ).

Η τελική πίεση στο τέλος της φάσεως συμπιέσε-



Σχ. 4.4στ.

Σχηματική απεικόνιση των διαφορών μεταξύ πραγματικού και θεωρητικού διαγράμματος p-V (θετικός βρόγχος τετράχρονου κινητήρα - σύγκριση με ισοδύναμο κύκλο αέρα-καυσίμου). (1) πραγματικό διάγραμμα, (2) απώλειες έργου λόγω πεπερασμένης ταχύτητας καύσεως, (3) απώλειες θερμότητας κατά την εκτόνωση λόγω μη αδιαβατικής μεταβολής, (4) απώλειες έργου λόγω πρόωρου ανοίγματος βαλβίδων εξαγωγής.

ως υπολείπεται της αντίστοιχης ισεντροπικής λόγω των πιθανών απωλειών εργαζόμενου μέσου και των απωλειών θερμότητας. Όσο μειώνονται οι παραπάνω απώλειες, τόσο περισσότερο πλησιάζει η πραγματική πίεση την αντίστοιχη ισεντροπική στο τέλος της συμπιέσεως. Οι παραπάνω απώλειες μειώνονται, όταν μειώνεται ο διατιθέμενος χρόνος, δηλαδή στις υψηλές στροφές. Αντίστοιχα, οι απώλειες εργαζόμενου μέσου αυξάνονται με την αύξηση του βαθμού συμπιέσεως ε.

Η τελική πίεση συμπιέσεως μπορεί να μετρηθεί στις βενζινομηχανές με τη χρήση μανομέτρων μεγίστου. Τα μανόμετρα τοποθετούνται στη θέση ενός κάθε φορά σπινθηριστή, ενώ λειτουργεί ο κινητήρας χωρίς καύσιμο, με κίνησή του από τη μίζα. Κατά τη μέτρηση πρέπει ο κινητήρας να έχει τη θερμοκρασία λειτουργίας και όλοι οι σπινθηριστές να έχουν αφαιρεθεί.

Η εκλογή της μέγιστης πιέσεως συμπιέσεως στους κινητήρες Otto καθορίζεται από την αντικροτική ικανότητα του καυσίμου (που εκφράζεται από τον ***αριθμό οκτανίου***) και κυμαίνεται μεταξύ 8 και 12 bar. Αντίθετα, στους κινητήρες Diesel, η πίεση συμπιέσεως πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη για να εξασφαλίζεται η αυτανάφλεξη του καυσίμου. Η πίεση αυτή κυμαίνεται μεταξύ 40 και 45 bar για μικρούς ταχύστροφους κινητήρες και μεταξύ 30 και 35 bar για μεγάλους αργόστροφους κινητήρες. Σε ισχυρά υπερπληρούμενους κινητήρες η πίεση αυτή κυμαίνεται μεταξύ 70 και 160 bar.

Η ικανότητα αυταναφλέξεως του καυσίμου Diesel χαρακτηρίζεται κατά ομόσημο τρόπο από τον ***αριθμό κετανίου***. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός κετανίου τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα αναφλέξεως του καυσίμου και τόσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία αυταναφλέξεώς του. Προφανώς, ο αριθμός οκτανίου και ο αριθμός κετανίου είναι έννοιες αντίθετες. Περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφερθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

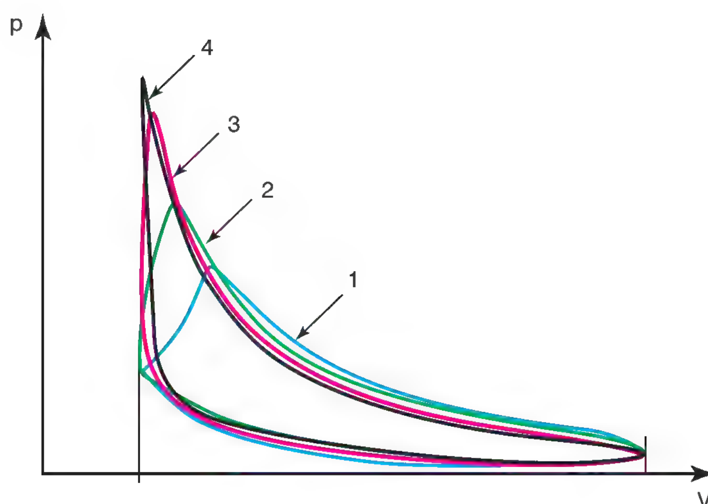
4.4.5 Η φάση της καύσεως στους βενζινοκινητήρες.

Η πραγματική καύση εντός του κυλίνδρου δεν γίνεται στιγμιαία, αλλά απαιτεί συγκεκριμένο χρόνο, όπως ήδη έχει αναλυθεί. Για να μεγιστοποιηθεί το έργο που παράγει το έμβολο, πρέπει η μέγιστη πίεση να εμφανιστεί λίγο μετά το ΑΝΣ, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η εξασκούμενη δύναμη στο έμβολο. Αν η έναρξη της καύσεως γίνει στο ΑΝΣ τότε η πεπερασμένη ταχύτητα της καύσεως θα οδηγήσει σε απώλεια πολύτιμου έργου, λόγω του γεγονότος ότι η πίεση θα γίνει μέγιστη όταν το έμβολο θα έχει απομακρυνθεί αρκετά από το ΑΝΣ. Λόγω ακριβώς αυτής της απομακρύνσεως, η μέγιστη πίεση του κύκλου είναι μικρότερη από τη μέγιστη πίεση που θα επιτυγχανόταν για στιγμιαία καύση του μείγματος. Ως αποτέλεσμα, το πραγματικό έργο είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του θεωρητικού κύκλου αέρα-καυσίμου με στιγμιαία καύση.

Βελτίωση της αποδόσεως στους βενζινοκινητήρες μπορεί να επιτευχθεί με έναυση του σπινθήρα αρκετά πριν το ΑΝΣ, έτσι ώστε, όταν το έμβολο θα έχει φτάσει στο ΑΝΣ, να έχομε τη μέγιστη πίεση στον κύλινδρο (προπορεία της εναύσεως). Η προπορεία της εναύσεως του σπινθήρα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην αυξάνεται το αρνητικό έργο του εμβόλου λόγω της αυξημένης πιέσεως (λόγω καύσεως) που συναντά κατά την άνοδο από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ (σχ. 4.4ζ). Λόγω του συγκεκριμένου χρόνου διαδόσεως της φλόγας εντός του κυλίνδρου, η προπορεία της εναύσεως πρέπει να μεταβάλλεται με την άνοδο των στροφών του κινητήρα. Η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται για προπορεία μεταξύ 20^o και 30^o. Η πλήρως ισόχωρη καύση δεν είναι επιθυμητή επειδή συνεπάγεται κρουστικά φορτία.

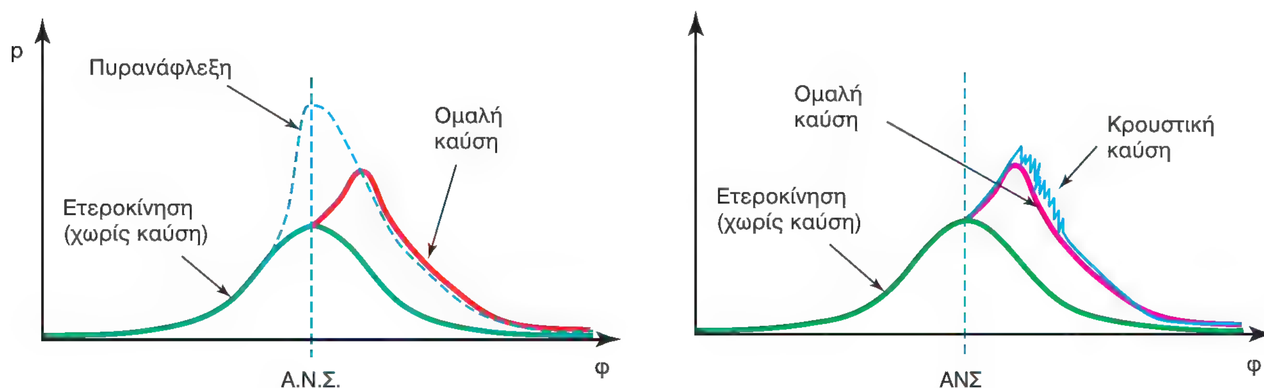
Στην περίπτωση κινητήρων Otto, καύσιμα χαμηλού αριθμού οκτανίου αυταναφλέγονται, με αποτέλεσμα την έναρξη της καύσεως από πολλά σημεία. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ταχύτατη ***κρουστική καύση***, όπου το μέτωπο της φλόγας συνοδεύεται από ισχυρές μεταβαλλόμενες πιέσεις (σχ. 4.4η). Το φαινόμενο προκαλεί υψηλή μηχανική και θερμική καταπόνηση του συγκροτήματος εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου, καθώς και μείωση της ισχύος του κινητήρα. Άλλες αιτίες της κρουστικής καύσεως είναι η ανομοιόμορφη κατανομή του μείγματος εντός του κυλίνδρου, η κακή ψύξη των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, ο υψηλότερος του κανονικού βαθμός συμπιέσεως και η παρουσία πυρωμένων (ανθρακούχων-μολυβδούχων) καταλοίπων (επικαθήσεων) στο χώρο της καύσεως (***πυρανάφλεξη***). Η πυρανάφλεξη προκαλεί σημαντική προπορεία της καύσεως (σχ. 4.4η), με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση στο αρνητικό έργο του εμβόλου.

Ένα σημαντικό ποσοστό της παραγόμενης θερμότητας καύσεως χάνεται άμεσα προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου κατά τη διάρκεια της καύσεως. Αυτό οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση, στις υψηλές ταχύ-



Σχ. 4.4ζ.

Μεταβολή του δυναμοδεικτικού διαγράμματος (p-V) ανάλογα με την προπορεία της εναύσεως σε τετράχρονο βενζινοκινητήρα. (1) μηδενική προπορεία, (2) προπορεία 13ο, (3) προπορεία 26ο, (4) προπορεία 39ο.



Σχ. 4.4η.

Δυναμοδεικτικά διάγραμματα p-φ όπου φαίνεται η επίδραση της ομαλής καύσεως, της κρουστικής καύσεως και της πυραναφλέξεως στη μεταβολή της πιέσεως.

τητες της ροής και στην έντονα τυρβώδη ροή κατά τη διάρκεια της καύσεως.

4.4.6 Η φάση της εκτονώσεως.

Όπως και η φάση της συμπιέσεως, η φάση της εκτονώσεως δεν είναι στην πραγματικότητα ισεντροπική. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών των καυσαερίων εμφανίζεται ισχυρή μετάδοση θερμότητας από το εργαζόμενο μέσο προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Η μετάδοση θερμότητας, σε αντίθεση με τη φάση της συμπιέσεως, έχει σταθερή φορά προς τα τοιχώματα. Παράλληλα, μπορεί να εμφανιστεί και απώλεια εργαζόμενου μέσου (καυσαερίων) όταν υπάρχουν αυξημένες φθορές στα ελατήρια του εμβόλου και στις έδρες των βαλβίδων.

Η καύση στους κινητήρες Otto έχει πλήρως ολοκληρωθεί περίπου 25ο μετά το ΑΝΣ. Αντίθετα, στους κινητήρες Diesel η καύση συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια της εκτονώσεως (για ένα μικρό ποσοστό του καυσίμου) μέχρι το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής.

Επειδή κατά τη διάρκεια της εκτονώσεως μεταβάλλονται οι συνθήκες εντός του κυλίνδρου, η σύσταση των καυσαερίων αλλάζει συνεχώς, ως αποτέλεσμα της μεταβαλλόμενης χημικής ισορροπίας.

Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και η έντονη συστροφή τους εντός του κυλίνδρου προκαλούν ισχυρή μετάδοση θερμότητας (με αγωγή και

κυρίως συναγωγή) προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Ένα ποσοστό 10 έως 20% της θερμικής ισχύος του καυσίμου αποβάλλεται μέσα από τα τοιχώματα προς το ψυκτικό μέσο και προς τον αέρα με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του παραγόμενου έργου και τη μείωση του βαθμού αποδόσεως. Ως θετικό επακόλουθο της απώλειας θερμότητας έχομε τη μείωση της θερμοκρασίας του εργαζομένου μέσου με συνέπεια τη μείωση της διαστάσεως των καυσαερίων.

Η απώλεια θερμότητας κατά την εκτόνωση έχει ως αποτέλεσμα, η αντίστοιχη καμπύλη στο διάγραμμα p-V να είναι στον πραγματικό κύκλο πιο κάτω από τον αντίστοιχο κύκλο αέρα-καυσίμου. Αντικατοπτρίζει έτσι, τη μείωση του παραγόμενου έργου (μείωση του εμβαδού του κύκλου) (σχ. 4.4στ).

Κεφάλαιο Πέμπτο



ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν αναλυτικά τα κύρια τμήματα, που απαρτίζουν μια εμβολοφόρο ΜΕΚ. Η περιγραφή θα επικεντρωθεί στους ναυτικούς πετρελαιοκινητήρες, οι οποίοι αποτελούν και το κύριο αντικείμενο του συγγράμματος. Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει κατασκευαστικές λεπτομέρειες, καταπονήσεις και επιλογές υλικών, καθώς και τη συμπεριφορά των διαφόρων τμημάτων της πετρελαιομηχανής κατά τη λειτουργία της. Εξαιτίας των διαφορών που υπάρχουν μεταξύ των αργοστρόφων και των μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών, όπου είναι αυτό αναγκαίο, θα γίνεται ξεχωριστή περιγραφή των επιμέρους τμημάτων τους.

5.1 Αργόστροφες και μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.

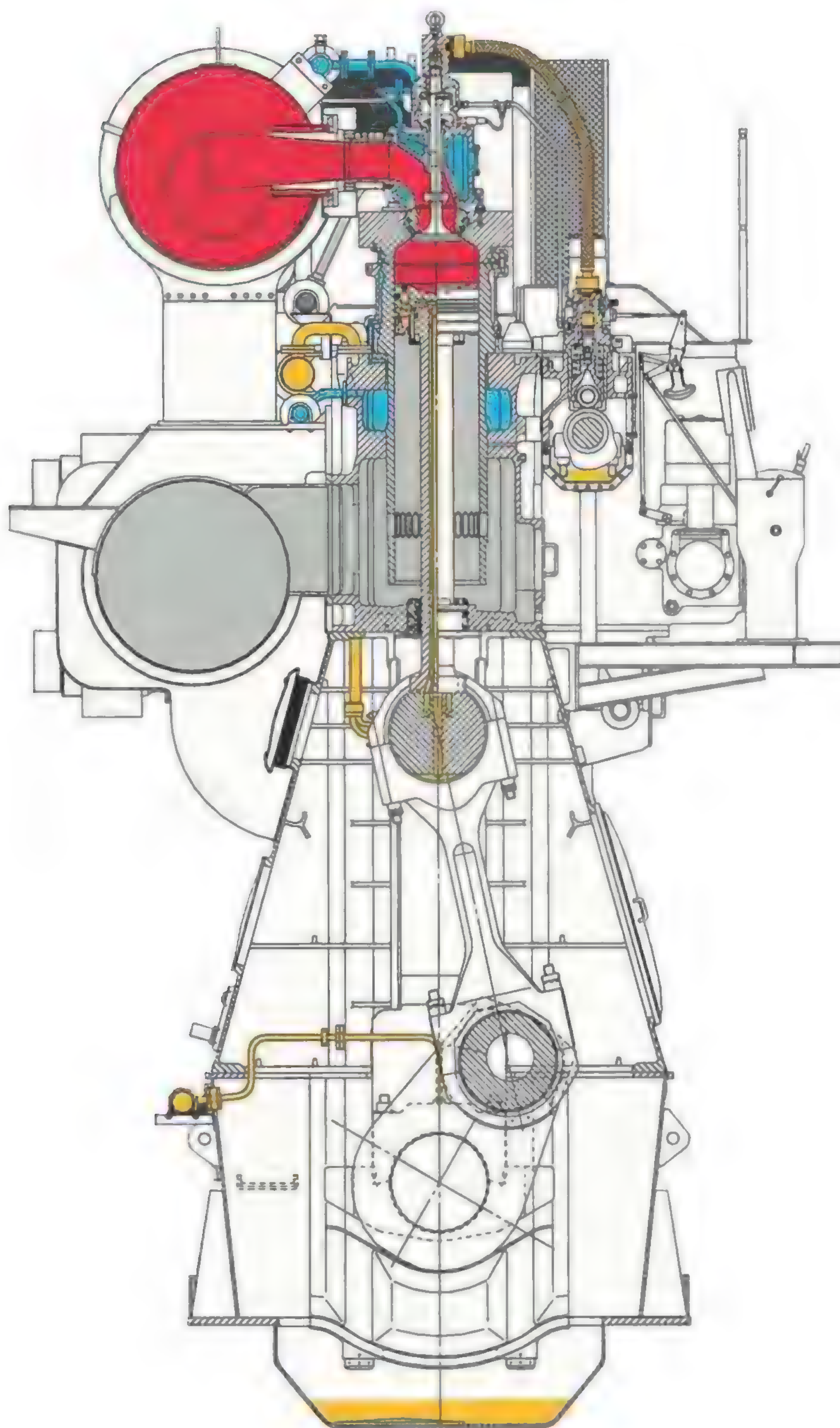
5.1.1 Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.

Οι αργόστροφες πετρελαιομηχανές κυριαρχούν στο χώρο της προώσεως των μεγάλων ποντοπόρων εμπορικών πλοίων (δεξαμενόπλοια, μεταφοράς χύδην φορτίου και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων). Είναι δίχρονες μηχανές με ζύγωμα (σταυρό), συνδέονται απ' ευθείας με την έλικα του πλοίου, χωρίς ανάγκη μειώσεως των στροφών και χρήσεως συμπλεκτών, διαθέτουν όλες υπερπλήρωση και είναι αναστρέψιμες (σχ. 5.1α).

Τα κύρια πλεονεκτήματα των αργοστρόφων πετρελαιομηχανών είναι η ικανότητα να καίνε κακής ποιότητας καύσιμο χωρίς πρόβλημα και η απλότητα της κατασκευής τους (μικρότερος αριθμός εξαρτημάτων, απουσία μειωτήρα). Τα παραπάνω οδηγούν σε μικρότερο κόστος χρήσεως και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Ειδικότερα, η χρήση ζυγώματος και βάκτρου επιτρέπει την απομόνωση του στροφαλοθαλάμου από το κιβώτιο σαρώσεως, οπότε είναι δυνατή η χρήση διαφορετικού λιπαντικού για τον κύλινδρο (κυλινδρέλαιο) και διαφορετικού για την υπόλοιπη μηχανή. Με τη χρήση ειδικών αλκαλικών κυλινδρελαίων αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά τα όξινα κατάλοιπα από την καύση των βαρέων πετρελαίων. Παράλληλα, η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής δίνει τον απαραίτητο χρόνο για την πλήρη και απροβλημάτιστη καύση των χαμηλής ποιότητας καυσίμων. Ο μικρότερος αριθμός κυλίνδρων οδηγεί σε μείωση των κινουμένων μερών της μηχανής και σε συνδυασμό με την απουσία μειωτήρα, αυξάνει την αξιοπιστία της.

Οι αργόστροφες δίχρονες πετρελαιομηχανές έχουν όμως μεγαλύτερο ύψος από τις μεσόστροφες και μεγαλύτερο βάρος ανά παραγόμενο ίππο. Καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο στο μηχανοστάσιο και είναι γενικά πιο ακριβές. Όμως, σε συνδυασμό με το μικρότερο κόστος χρήσεως και τη μεγαλύτερη αξιοπιστία οδηγούν γενικά σε μικρότερο συνολικό κόστος. Το μειονέκτημα των μεγαλυτέρων εξαρτημάτων δεν έχει επίπτωση στην εξάρμοση, επιθεώρηση και άρμοση, μιας και ο χειρισμός τους γίνεται ούτως ή άλλως με τη χρήση γερανών και ειδικών συσκευών, τόσο στις αργόστροφες όσο και στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.

Από τους πολλούς κατασκευαστές αργοστρόφων πετρελαιομηχανών μόνο τρεις έχουν επιβιώσει (Mitsubishi, MAN B&W και Wartsila NSD). Οι κινητήρες τους έχουν κοινά χαρακτηριστικά, όπως δίχρονη λειτουργία, ύπαρξη σταυρού, σάρωση με βαλβίδα εξαγωγής και σύστημα καυσαερίων σταθερής πιέσεως. Οι διάμετροι κυλίνδρου κυμαίνονται από 260 έως 980 mm, ο λόγος διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου φτάνει μέχρι 4,2:1, ο αριθμός κυλίνδρων μέχρι 12, ενώ η ταχύτητα περιστροφής κυμαίνεται από 55 έως 250 στροφές το λεπτό. Η ισχύς των δωδεκακυλίνδρων μηχανών με τη μέγιστη διάμετρο κυλίνδρου των 980 mm έχει πλέον ξε-



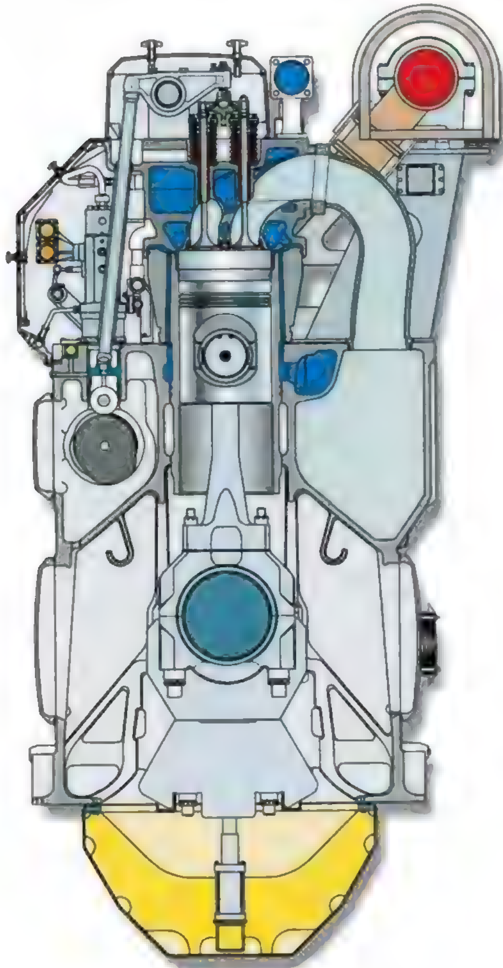
Σχ. 5.1α.
Τομή τυπικής δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής.

περάσει τα 68.000 kW, σχεδόν διπλάσια τιμή των αντιστοίχων μηχανών της δεκαετίας του '70.

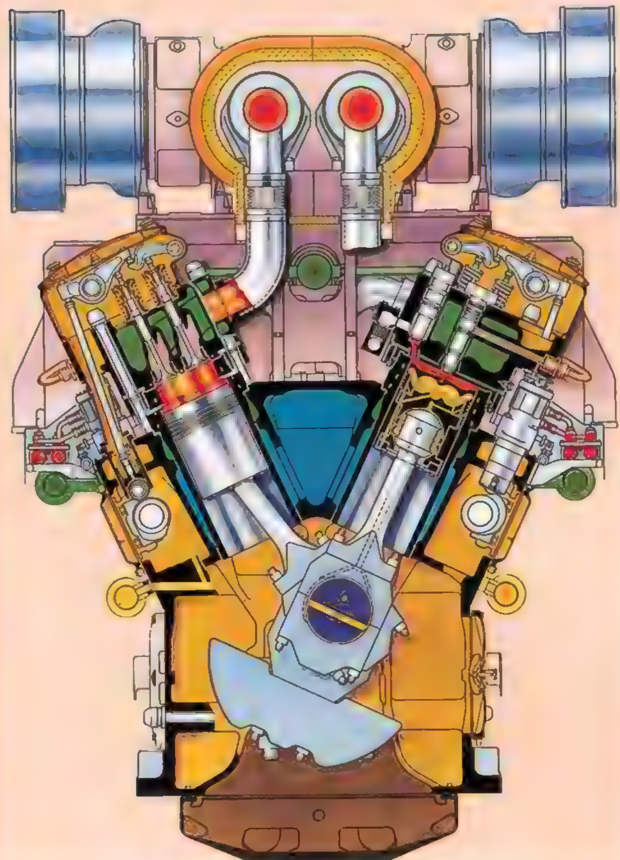
Τις τελευταίες δύο δεκαετίες παρουσιάζεται μια συνεχής τάση για αύξηση της μέγιστης πιέσεως του κυλίνδρου, του λόγου της διαδρομής του εμβόλου προς τη διάμετρο του κυλίνδρου, καθώς και της μέσης ταχύτητας του εμβόλου. Η έρευνα για τη βελτίωση των μηχανών επικεντρώνεται στην αύξηση του βαθμού αποδόσεως και την επακόλουθη μείωση της καταναλώσεως, την αύξηση της αξιοπιστίας και της αντοχής, την αύξηση των περιόδων μεταξύ των ελέγχων, την αύξηση της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων, την ευκολία στην εγκατάσταση, την απλοποίηση της συντηρήσεως και γενικά, τη μείωση του συνολικού κόστους χρήσεως. Παράλληλα, μεγάλη προσπάθεια καταβάλλεται προς την κατεύθυνση της μειώσεως των εκπομπών ρύπων και την επίτευξη απροβλημάτιστης καύσεως με καύσιμα πολύ χαμηλής ποιότητας. Σημαντική έρευνα επίσης γίνεται προς την κατεύθυνση της διαγνωστικής και του ελέγχου του κινητήρα με τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας και της τεχνητής νοημοσύνης, ενώ πραγματοποιούνται δοκιμές για την αντικατάσταση των εκκεντροφόρων από σύστημα ηλεκτρονικών αισθητήρων, έτσι ώστε η λειτουργία κάθε κυλίνδρου να ρυθμίζεται ανεξάρτητα, για να επιτυγχάνεται ομαλότερη και βέλτιστη λειτουργία.

5.1.2 Μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.

Οι μεσόστροφες πετρελαιομηχανές είναι τετράχρονες και χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση μικροτέρων πλοίων ή για την κίνηση ειδικών τύπων μεγάλων πλοίων, όπως τα κρουαζιερόπλοια και τα οχηματαγωγά. Παρόλ' αυτά οι μεγαλύτερες μηχανές της κατηγορίας στοχεύουν πλέον και στην περιοχή που επικρατούν οι δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές. Κατασκευάζονται σε διάταξη εν σειρά ή σε διάταξη V και είναι όλες υπερπληρούμενες (σχ. 5.1β και 5.1γ). Το σύστημα προσαγωγής



Σχ. 5.1β.
Τομή τυπικής τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, εν σειρά.



Σχ. 5.1γ.
Τομή τυπικής τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, τύπου V.

των καυσαερίων στο στρόβιλο είναι κυρίως σύστημα παλμών, αλλά χρησιμοποιούνται και συστήματα σταθερής πιέσεως ή και υβριδικά συστήματα.

Το μικρότερο ύψος τους σε σχέση με τις δίχρονες μηχανές επιτρέπει τη δημιουργία μικρότερου ύψους μηχανοστασίου και την καλύτερη εκμετάλλευση του αντίστοιχου όγκου του πλοίου. Η αναγκαστική χρήση μειωτήρα στροφών, λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής τους, επιτρέπει την καλύτερη επιλογή ταχύτητας περιστροφής για την έλικα του πλοίου. Επιπρόσθετα έχουν μικρότερο χρόνο κατασκευής και συναρμολογήσεως από τις δίχρονες μηχανές.

Το βάρος της συνολικής εγκαταστάσεως της τετράχρονης πετρελαιομηχανής (μαζί με τα παρελκόμενα και τους μειωτήρες) είναι περίπου 20% έως 30% μικρότερο της αντίστοιχης δίχρονης μηχανής ίδιας ισχύος (ή και ακόμη περισσότερο σε σχέση με παλαιότερες δίχρονες μηχανές), με κόστος κτήσεως ελαφρά μικρότερο (σχ. 5.1δ). Η συνολική εγκατάσταση όμως, είναι σαφώς πιο πολύπλοκη, τα κινούμενα μέρη περισσότερα (μεγαλύτερος αριθμός κυλίνδρων) και η πιθανότητα βλάβης μεγαλύτερη. Όμως η χρήση περισσοτέρων της μίας μηχανής, εκμηδενίζει τον κίνδυνο πλήρους απώλειας ισχύος, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας, θέτοντας σταδιακά τις μηχανές σε λειτουργία, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Έτσι αυτές λειτουργούν στη βέλτιστη περιοχή τους. Η χρήση περισσοτέρων της μιας μηχανής επιτρέπει την πρόωση με περισσότερες έλικες, βελτιώνοντας σημαντικά την ικανότητα ελιγμών. Η ύπαρξη μειωτήρων επιτρέπει τη σύνδεση της μηχανής με γεννήτρια παραγωγής ισχύος, ή με άλλους βοηθητικούς μηχανισμούς (όπως σύστημα παροχής υδραυλικής ισχύος).

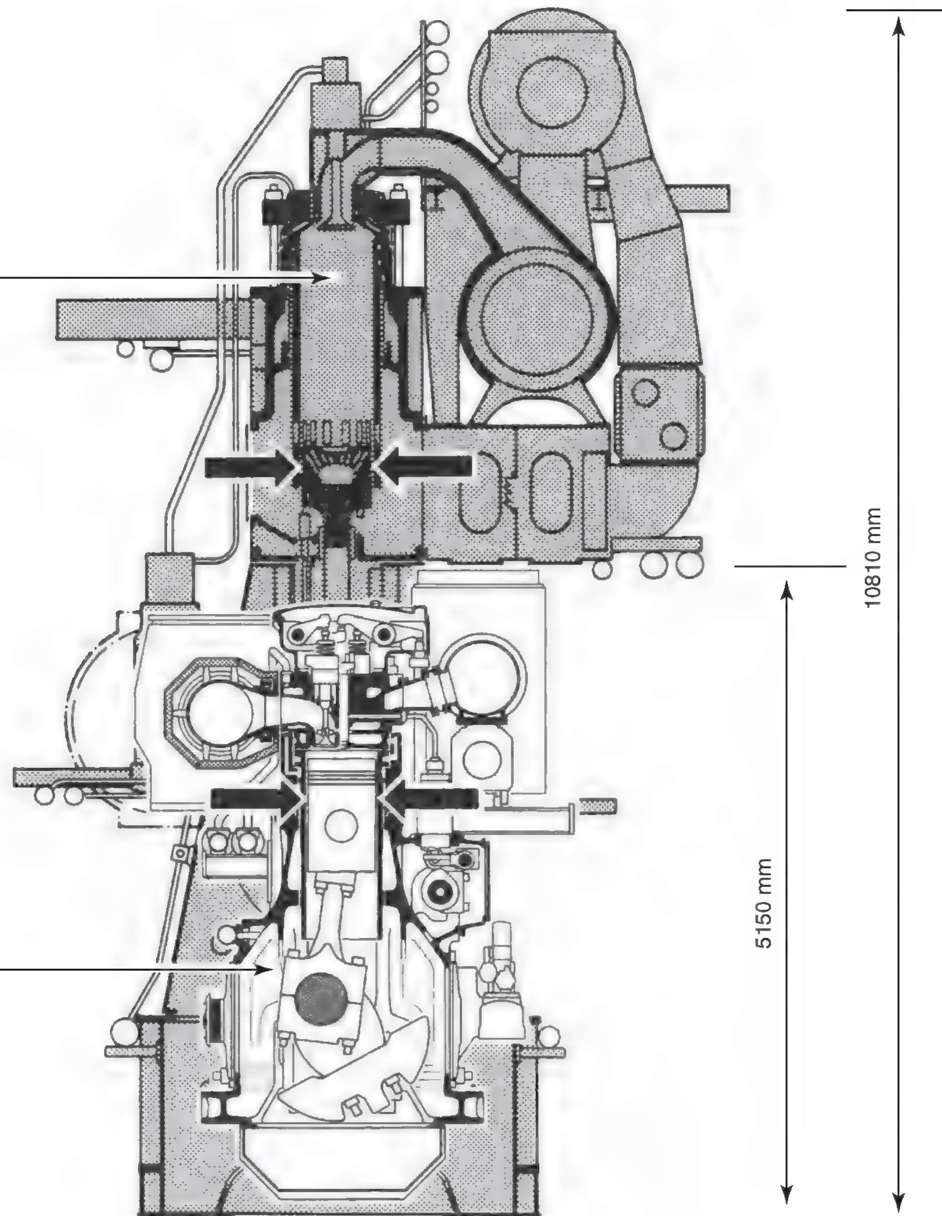
Οι μεσόστροφες πετρελαιομηχανές είναι πιο ευπαθείς στη χρήση βαρέων πετρελαίων, ειδικά λόγω της απουσίας σταυρού, οπότε δεν είναι δυνατή η χρήση ειδικού κυλινδρελαίου. Αν και πλέον, οι μεσόστροφες μηχανές λειτουργούν κατά κόρον με βαρέα καύσιμα χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, εμφανίζουν μεγαλύτερες φθορές λόγω θερμής διαβρώσεως στις βαλβίδες εξαγωγής. Είναι μάλιστα δύσκολο να καταναλώσουν καύσιμα εξαιρετικά χαμηλής ποιότητας, εξ αιτίας του περιορισμένου χρόνου που διατίθεται για την καύση (υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής).

Λόγω της λειτουργίας τους σε τέσσερεις χρόνους, επιτυγχάνουν καλύτερη λίπανση των ελατηρίων των εμβόλων, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους και συνεπώς, σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα μεταξύ των επιθεωρήσεων των εμβόλων. Αντίθετα, εμφανίζουν συνήθως, μεγαλύτερη κατανάλωση λιπαντικού και αυξημένο αντίστοιχο κόστος. Παρόλ' αυτά τα λάδια των τετραχρόνων μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών είναι σχετικά φθηνότερα των αντιστοίχων για αργόστροφες μηχανές (εκεί χρησιμοποιούνται και ειδικά κυλινδρέλαια, που ανεβάζουν το κόστος).

Πολλοί κατασκευαστές προσφέρουν τετράχρονες μηχανές με διάμετρο κυλίνδρου μεγαλύτερη των 500 mm. Με την κατασκευή της σειράς 64 της Wartsila (640 mm διάμετρος κυλίνδρου, 900 mm διαδρομή εμβόλου στις εν σειρά και 700 mm στις τύπου V), οι τετράχρονες μηχανές ξεπέρασαν τα 2000 kW ανά κύλινδρο.

Η έρευνα στο χώρο των μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών κατευθύνεται κυρίως προς τη μείωση της καταναλώσεως καυσίμου και λιπαντικού, την αύξηση της αξιοπιστίας, τη μείωση του βάρους και της πολυπλοκότητας των κινητήρων, την απλοποίηση της κατασκευής με την αντίστοιχη μείωση του κόστους κτήσεως, την ικανότητα καύσεως εναλλακτικών καυσίμων και τη μείωση των εκπεμπομένων ρύπων. Παράλληλα, εξελίσσεται η διαγνωστική και ο έλεγχος του κινητήρα με τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας, έτσι ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία και η ομαλότητα της λειτουργίας του κινητήρα και να επιτευχθούν πολύ μεγαλύτεροι χρόνοι μεταξύ των γενικών επιθεωρήσεων (στόχος οι 30.000 ώρες λειτουργίας μεταξύ γενικών επιθεωρήσεων μέχρι το 2010).

Εκτός των μεσοστρόφων τετραχρόνων πετρελαιομηχανών, υπάρχουν και αργόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές. Η κατασκευή και η χρήση τους περιορίζεται στην αγορά της Ιαπωνίας και της Άπω Ανατολής. Με ταχύτητες περιστροφής κάτω των 200 rpm επιτρέπουν την απ' ευθείας σύνδεση της έλικας στη μηχανή. Σε σχέση με τις μεσόστροφες τετράχρονες μηχανές, έχουν μεγαλύτερο βάρος και όγκο, ενώ, λόγω της απουσίας μειωτήρα, η ταχύτητα περιστροφής της προπέλας είναι δεδομένη. Προσφέρουν όμως αυξημένη αξιοπιστία (εξαιτίας των λιγοτέρων κινουμένων τμημάτων), λιγότερο θόρυβο και ταλαντώσεις, μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και λιπαντικού και μεγαλύτερη ικανότητα καύσεως βαρέων πετρελαίων, λόγω της μικρότερης ταχύτητας περιστροφής. Οι μηχανές αυτές προσφέρονται συνήθως με σταθερό αριθμό κυλίνδρων (6 εν σειρά) και η διαφοροποίηση της ισχύος επιτυγχάνεται με μεγάλη ποικιλία στη γεωμετρία των κυλίνδρων, σε αντίθεση με την πρακτική που ακολουθείται στις μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές.



Σχ. 5.1δ.

Σύγκριση μεγέθους και βάρους δίχρονης και τετράχρονης πετρελαιομηχανής, με ίδια διάμετρο κυλίνδρου (580 mm) και ίδια ισχύ εξόδου (εξακύλινδρη δίχρονη, επτακύλινδρη τετράχρονη).

5.2 Κορμός μηχανής.

5.2.1 Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.

Οι αργόστροφες πετρελαιομηχανές, λόγω της μεγάλης ισχύος και του ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους τους, διαθέτουν άκαμπτους στροφαλοφόρους άξονες (για να παραλαμβάνουν τις ισχυρές δυνάμεις της καύσεως καθώς και τις αδρανειακές δυνάμεις, χωρίς πρόβλημα παραμορφώσεων). Κατά την κίνηση του πλοίου και σε δύσκολες καιρικές συνθήκες (έντονος κυματισμός), η παραμόρφωση της γάστρας επιβάλλει μεγαλύτερες φορτίσεις σε σχέση με την περίπτωση του εύκαμπτου άξονα. Για να μη μεταφέρονται οι φορτίσεις αυτές στο στροφαλοφόρο άξονα, επιβάλλεται και η κατασκευή του κορμού της μηχανής με ισχυρή ακαμψία. Επιπρόσθετα, η περιοχή της γάστρας, όπου στηρίζεται ο κινητήρας, κατασκευάζεται και αυτή με αυξημένη ακαμψία. Κατ' αυτόν τον τρόπο, περιορίζονται οι φορτίσεις του κινητήρα από την παραμόρφωση της γάστρας, καθώς επίσης και οι φορτίσεις του άξονα της προπέλας και του συστήματος εδράσεώς του.

Το τελευταίο επιβάλλει την επέκταση της ισχυροποιήσεως της δομής της γάστρας κάτω από τον κινητήρα και σε μεγαλύτερη περιοχή πριν και μετά τον κινητήρα.

Η περιοχή της βάσεως της μηχανής μαζί με την αντίστοιχη ενισχυμένη περιοχή της γάστρας αποτελούν ενιαίο συγκρότημα με ισχυρή ακαμψία που σχηματίζει μια κλίνη. Εκεί στηρίζεται ο στροφαλοφόρος άξονας και ο άξονας της προπέλας.

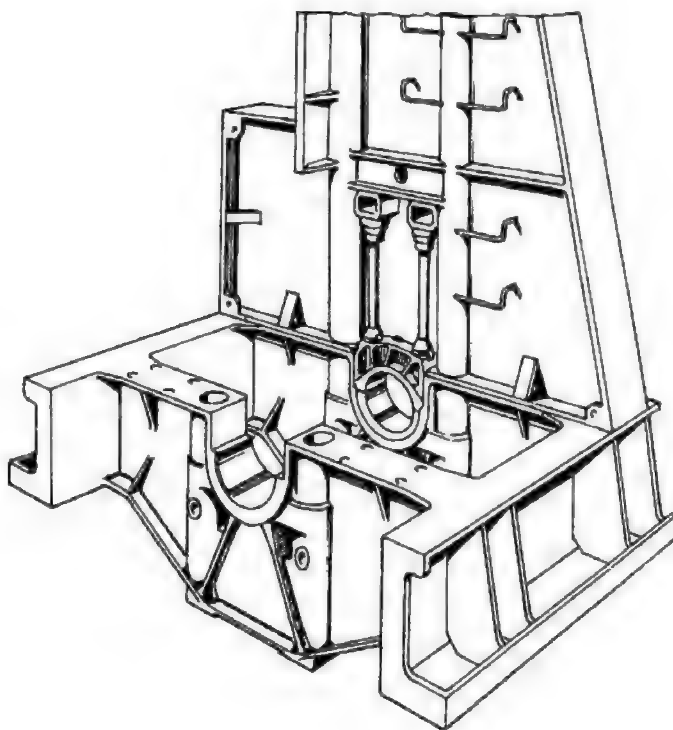
α) Βάση της μηχανής.

1) Δομή.

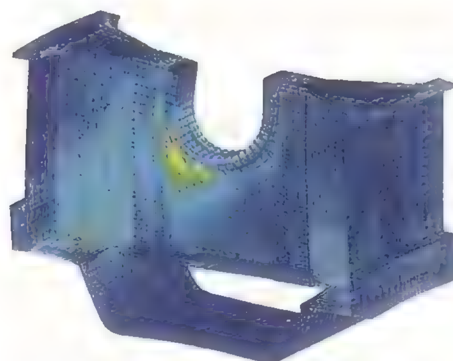
Επάνω στη βάση χτίζεται ολόκληρος ο κινητήρας και κυρίως, στηρίζεται ο στροφαλοφόρος άξονας, εξασφαλίζοντας την ευθυγράμμιση, καθώς και τη σωστή έδρασή του. Η βάση έχει κιβωτιοειδή μορφή και κατασκευάζεται από δύο διαμήκεις δοκούς τύπου διπλού Τ, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με εγκάρσιους δοκούς και διάτρητα διαφράγματα (για τη μείωση του βάρους και την ελεύθερη κυκλοφορία του λιπαντικού). Οι δύο κύριοι διαμήκεις δοκοί φέρουν συνήθως και εγκάρσιες νευρώσεις. Νευρώσεις φέρουν και τα εγκάρσια διαφράγματα (σχ. 5.2α και 5.2β). Η κατασκευή γίνεται από ηλεκτροσυγκολλημένα χαλύβδινα ελάσματα, προσδίδοντας στην όλη δομή την απαραίτητη ακαμψία με το ελάχιστο δυνατό βάρος και κόστος κατασκευής. Η φόρτιση της βάσεως της μηχανής είναι κυρίως δυναμική (ταλαντώσεις), οπότε πρέπει να έχει και αυξημένη αντοχή σε κόπωση. Οι εγκάρσιοι δοκοί της βάσεως φορτίζονται σε κάμψη, καθώς οι εντατήρες την έλκουν προς το σκελετό, ενώ στο κέντρο, ο στροφαλοφόρος την ωθεί προς τα κάτω, λόγω της επιδράσεως της δυνάμεως των εμβόλων.

Οι εγκάρσιοι δοκοί είναι κατάλληλα διαμορφωμένοι, για να μπορούν να υποδεχθούν το κάτω ήμισυ των εδράνων στηρίξεως του στροφαλοφόρου άξονα, ενώ το άνω ήμισυ των εδράνων στηρίξεως προσαρμόζεται σε αντίστοιχες υποδοχές στο κάτω μέρος του σκελετού (σχ. 5.2α).

Τα χαλύβδινα φύλλα, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της βάσεως έχουν μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα, για να μη μειώνεται η ολκιμότητά τους και η ικανότητα συγκολλήσεως. Με την πρόσθεση μικρών ποσοτήτων νιοβίου είναι δυνατή η (μικρή) αύξηση της αντοχής του χάλυβα, χωρίς όμως να επηρεάζεται η ολκιμότητα και η ικανότητα συγκολλήσεως. Η συγκόλληση πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται οι αναγκαίες διατομές της ραφής συγκολλήσεως, που θα επιτρέπουν την ασφαλή μεταφορά των τάσεων. Πρέπει να υπενθυμισθεί ότι η αντοχή της ραφής συγκολλήσεως είναι πάντα μικρότερη του ελάσματος, οπότε πρέπει να έχει αυξημένη διατομή, για να κρατηθούν χαμηλά οι μεταφερόμενες τάσεις. Οι ραφές της ηλεκτροσυγκολλήσεως ελέγχονται με μη καταστρεπτικές μεθόδους για την ποιότητά τους (ραδιογραφία, διεισδυτικά υγρά κ.λ.π.).



Σχ. 5.2α.
Δομή βάσεως σε αργόστροφη πετρελαιομηχανή και τμήμα του σκελετού.



Σχ. 5.2β.
Ανάλυση δομικού στοιχείου της βάσεως σε αργόστροφη δίχρονη πετρελαιομηχανή, με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Η κόκκινη περιοχή αντιστοιχεί στη μέγιστη καταπόνηση.

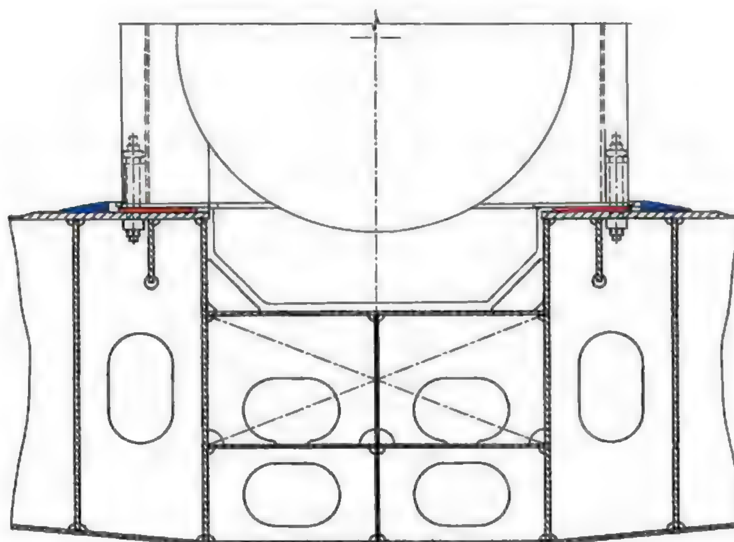
Στην περίπτωση που δεν έχουν εκτελεσθεί σωστά (εσωτερικές φυσαλίδες, ρωγμές κ.λ.π.) αφαιρούνται με κοπή και επαναλαμβάνονται. Μετά τη συγκόλλησή της, η βάση υπόκειται σε αποτατική ανόπτηση (θέρμανση), για την αφαίρεση των θερμικών τάσεων που δημιουργούνται τοπικά κατά την ηλεκτροσυγκόλληση, λόγω της ανομοιόμορφης θερμάνσεως των ελασμάτων στην περιοχή συγκολλήσεως.

Η βάση στις μηχανές με μεγάλο αριθμό κυλίνδρων (συνήθως μεγαλύτερο ή ίσο του 8) κατασκευάζεται σε δύο τμήματα, που συνδέονται μεταξύ τους με κοχλίες. Η διαίρεση της βάσεως σε δύο τμήματα γίνεται, για να είναι δυνατή η τοποθέτησή της στο εσωτερικό του πλοίου χωρίς προβλήματα από τα αντίστοιχα ανοίγματα.

2) Έδραση.

Η έδραση των διχρόνων μηχανών πραγματοποιείται με πάκτωση της βάσεώς τους στη γάστρα του πλοίου. Οι δύο κύριοι δοκοί που σχηματίζουν τη βάση, έχουν αυξημένο πάχος ελασμάτων στα οριζόντια τμήματά τους. Αυτά τα τμήματα εφάπτονται στη γάστρα (το κάτω) και στο σκελετό της μηχανής (το πάνω). Το αυξημένο πάχος επιβάλλεται, για να μπορεί να αφαιρεθεί υλικό με κατεργασία κοπής κατά την τελική ευθυγράμμισή τους. Η ευθυγράμμιση αυτή είναι αναγκαία λόγω των στρεβλώσεων που δημιουργούνται κατά τη συγκόλληση των ελασμάτων, από την επίδραση των θερμικών τάσεων.

Η στήριξη της βάσεως στη γάστρα του πλοίου γίνεται με παρεμβολή τάκων (chocks) στηρίξεως. Οι τάκοι χρησιμοποιούνται, για να εξασφαλισθεί απόλυτη οριζοντίωση των δοκών της βάσεως, επειδή δεν είναι πρακτικά δυνατόν να κατασκευασθεί η γάστρα με απόλυτη οριζοντίωση και χωρίς μικροανωμαλίες. Πιθανή στρεβλή τοποθέτηση των δοκών (σε όχι οριζόντια διεύθυνση) δημιουργεί μόνιμες καμπτικές τάσεις, που φορτίζουν τη δομή της βάσεως και το στροφαλοφόρο. Οι τάκοι πρέπει να έχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με τη βάση και τη γάστρα για τη μείωση της φορτίσεώς τους. Η τοποθέτησή τους απαιτεί πολύ μεγάλη εμπειρία, γιατί πιθανή κακή τοποθέτηση έχει αποτέλεσμα τη μετακίνησή τους κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Η μετακίνηση αυτή συνοδεύεται από απόξεση υλικού από τη βάση ή τη γάστρα, με αποτέλεσμα την απώλεια της σωστής στηρίξεως και την πιθανότητα στρεβλώσεως της βάσεως, λόγω της ισχυρής φορτίσεώς της. Η παραμικρή στρέβλωση της βάσεως (λόγω κακής τοποθετήσεως ή φθοράς των τάκων) επιφέρει απώλεια ευθυγραμμίσεως του στροφαλοφόρου άξονα, με πολύ σοβαρές συνέπειες (από ανομοιόμορφη φθορά των εδράνων μέχρι θραύση του άξονα). Η ευθυγράμμιση της βάσεως πρέπει να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, για να αποφεύγονται πιθανές δυσάρεστες επιπτώσεις. Η περιοχή της γάστρας που στηρίζεται η βάση, είναι ιδιαίτερα ενισχυμένη, έτσι ώστε να παρέχεται η αναγκαία ακαμψία για την προστασία της μηχανής (και ειδικά του στροφαλοφόρου άξονα) από τις στρεβλώσεις της γάστρας (σχ. 5.2γ).



Σχ. 5.2γ.

Έδραση αργόστροφης πετρελαιομηχανής στη γάστρα του πλοίου. Η γάστρα έχει ενισχυθεί τοπικά, ενώ η έδραση γίνεται με τη χρήση τάκων ρητίνης (κόκκινο), κοχλιοφόρων καλύκων πακτώσεως και πλευρικών αναστολέων (μπλε).

Οι τάκοι που χρησιμοποιούνται, πρέπει να είναι μονοκόμματοι, χωρίς χρήση παρεμβυσμάτων ή λεπτών σφηνών για διόρθωση του ύψους τους. Αυτό πρέπει να γίνεται, για να μην υπάρχει κίνδυνος απώλειας της προεντάσεως των κοχλιών στηρίξεως. Η ύπαρξη πολλών αρμών μεταξύ των περικοχλίων, αυξάνει την απώλεια προεντάσεως, λόγω της συμπιέσεως των μικροανωμαλιών των επιφανειών επαφής, κατά τη λειτουργία της μηχανής.

Οι τάκοι παλαιότερα κατασκευάζονταν από χάλυβα ή χυτοσίδηρο, σε σχήμα οριζόντιου διπλού T και με πάχος από 20 έως 80 mm.

Σήμερα, συνηθίζεται η χρήση εποξικών ρητινών ή άλλων συνθετικών υλικών, με πάχος από 20 έως 80 mm ή και περισσότερο, για την πλήρωση του διακένου μεταξύ των κυρίων δοκών της βάσεως και της γάστρας του πλοίου (resin chocks) (σχ. 5.2γ). Οι ρητίνες εγχύονται σε υγρή μορφή και σκληραίνουν με τη χρήση κατάλληλου σκληρυντικού, γεμίζοντας τα κενά μεταξύ βάσεως και γάστρας, χωρίς να απαιτείται απόλυτη ευθυγράμμιση και λειότητα των επιφανειών, ειδικά εργαλεία και ιδιαίτερα πεπειραμένο προσωπικό. Κατά τη σκλήρυνσή τους δεν συρρικνώνονται, ενώ δεν επηρεάζονται από λάδια, θαλασσινό νερό ή οξέα. Για την επιλογή της κατάλληλης ρητίνης πρέπει να ληφθεί υπόψη η θερμοκρασία της βάσεως του κινητήρα κατά τη λειτουργία του, γιατί η αντοχή των ρητινών στις υψηλές θερμοκρασίες μειώνεται. Επίσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μικρή μείωση του πάχους τους με το χρόνο, μέχρι το υλικό να αποκτήσει την τελική του σύσταση και σκληρότητα.

Η βάση του κινητήρα πρέπει να έχει απόλυτη ευθυγράμμιση, όπως αυτή επιτεύχθηκε στο εργοστάσιο κατά τις δοκιμές και τις ρυθμίσεις της μηχανής. Η ευθυγράμμιση κατά την εγκατάσταση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση προσωρινών ρυθμιζομένων τάκων και σφηνών. Οι μετρήσεις της ευθυγραμμίσεως γίνονται με οπτικούς χωροβάτες ή με τη χρήση ακτίνων laser. Μετά την επίτευξη της ευθυγραμμίσεως τοποθετούνται οι μόνιμοι τάκοι (μεταλλικοί ή από ρητίνες) και αφαιρούνται οι προσωρινοί.

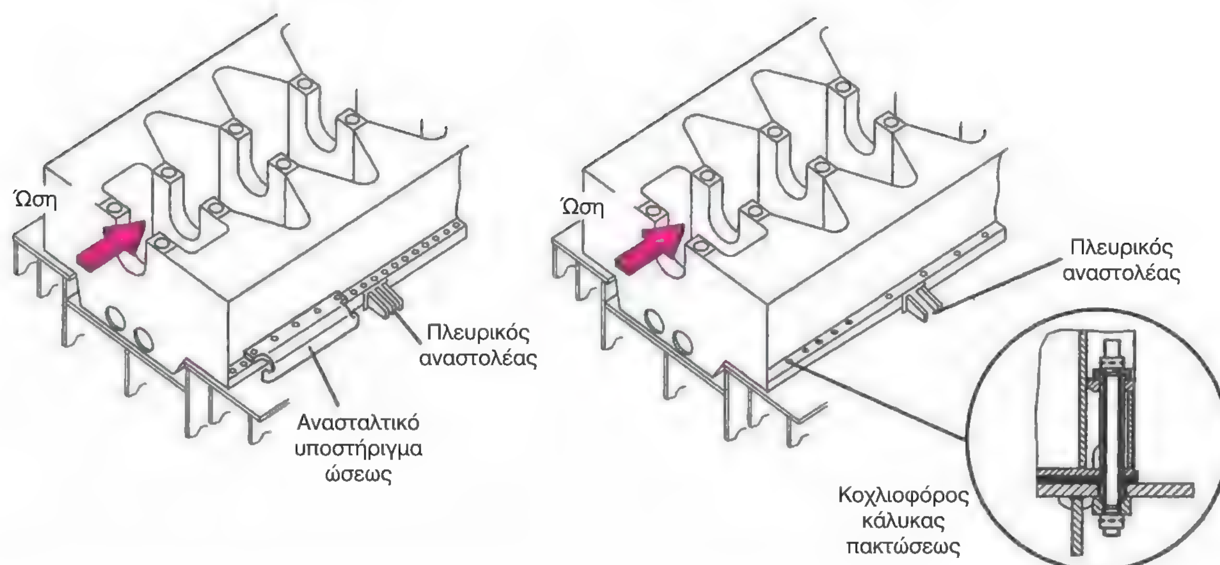
Στη βάση του κινητήρα είναι ενσωματωμένο το ωστικό έδρανο, το οποίο μεταφέρει την ώθηση της προπέλας (πρόσω ή ανάποδα) στη γάστρα του πλοίου. Η μεταφορά των μεγάλων δυνάμεων και ροπών γίνεται με τη χρήση κοχλιών, οι οποίοι συνδέουν τις δύο κύριες δοκούς της βάσεως με τα ελάσματα της γάστρας. Οι κοχλίες αυτοί μεταφέρουν τις οριζόντιες δυνάμεις από την προπέλα στη γάστρα, ενώ ταυτόχρονα καταπονούνται ισχυρά και ανομοιόμορφα από τις ταλαντώσεις της μηχανής και του άξονα της προπέλας (ιδιαίτερα κατά τις μεγάλες μεταβολές του φορτίου σε έντονο κυματισμό) και εξαιτίας των στρεβλώσεων της δομής του πλοίου λόγω κυματισμού.

Στις παλαιότερες σχεδιάσεις η μεταφορά της ώσεως της προπέλας μέσω της βάσεως στη γάστρα γινόταν με τη χρήση ειδικών ελασμάτων, τα οποία συγκολλούνταν στο έλασμα της γάστρας και προσαρμόζονταν στη βάση με κοχλίες (thrust brackets - ανασταλτικά υποστηρίγματα ώσεως). Σε νεότερες σχεδιάσεις χρησιμοποιούνται κοχλίες πακτώσεως, που διαπερνούν το έλασμα της γάστρας και μεταφέρουν την αξονική δύναμη της προπέλας στη γάστρα, μέσω καλύκων που τους περιβάλλουν (σχ. 5.2δ). Οι οπές στο έλασμα της γάστρας γίνονται με διάτρηση ή φλογοκοπή, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις για την τήρηση ανοχών. Αφού περαστούν οι κάλυκες (που παραλαμβάνουν τις διατμητικές τάσεις από την ώση της προπέλας) και συσφιχθούν οι κοχλίες, τα κενά καλύπτονται με εποξική ρητίνη (σχ. 5.2ε). Οι κοχλίες πακτώσεως είναι κοχλίες ελαστικής μηκύνσεως, με μικρότερη διατομή στην κεντρική περιοχή τους, χαρακτηριστικό που δίνει μικρότερη σταθερά ελατηρίου. Λόγω της μεγάλης ελαστικότητάς τους και της ισχυρής προεντάσεώς τους, μειώνεται το εύρος των τάσεων καταπονήσεως και ο κίνδυνος κοπώσεως. Η παρουσία του κάλυκα, αποτρέπει τη φόρτιση των κοχλιών σε κάμψη και διάτμηση, κάτι που θα οδηγούσε σε καταστροφή τους.

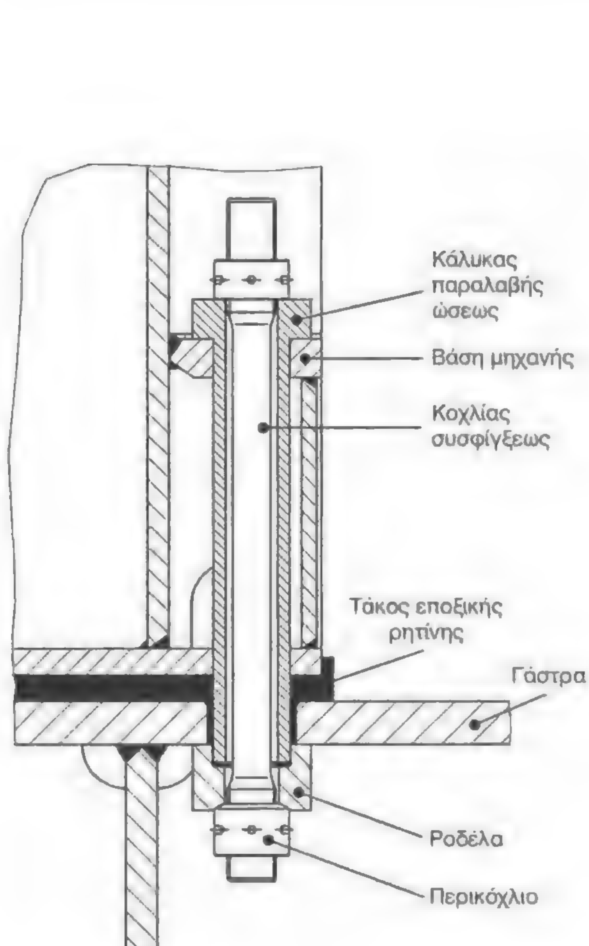
Η προστασία της μηχανής από πλάγιες μετατοπίσεις και η παραλαβή των αντιστοίχων δυνάμεων γίνεται με τη χρήση ειδικών ελασμάτων, των πλευρικών αναστολέων (side stoppers), που συγκολλούνται στη γάστρα (σχ. 5.2δ).

β) Σκελετός της μηχανής.

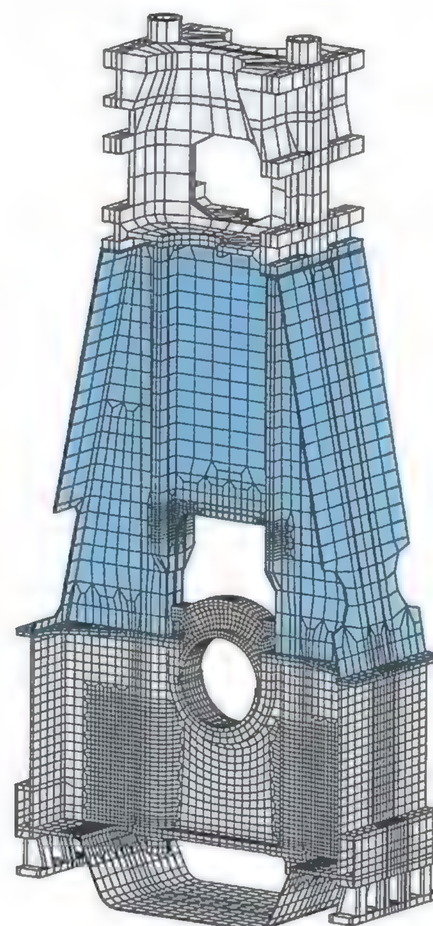
Οι αργόστροφες δίχρονες πετρελαιομηχανές μεγάλης ισχύος διαθέτουν όλες διάταξη κυλίνδρων εν σειρά (in-line), με αποτέλεσμα να προκύπτει μια αρκετά τυποποιημένη μορφή του σκελετού τους. Ο σκελετός αποτελεί το κύριο σε όγκο τμήμα του κινητήρα, πάνω στο οποίο προσαρμόζονται όλα τα υπόλοιπα τμήματα και τα βασικά εξαρτήματα της μηχανής. Η δομή του απαρτίζεται από εγκάρσια διαφράγματα (κολόνες - columns) σχήματος A, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με διαμήκη ελάσματα (σχ. 5.2στ). Το χαρακτηριστικό αυτό σχήμα των



Σχ. 5.2δ.
Έδραση αργόστροφης πετρελαιομηχανής στη γάστρα του πλοίου, με χρήση ανασταλτικών υποστηριγμάτων ώσεως (αριστερά) και κοχλιοφόρων καλύκων πακτώσεως (δεξιά).



Σχ. 5.2ε.
Κοχλιοφόρος κάλυκας πακτώσεως πετρελαιομηχανής.



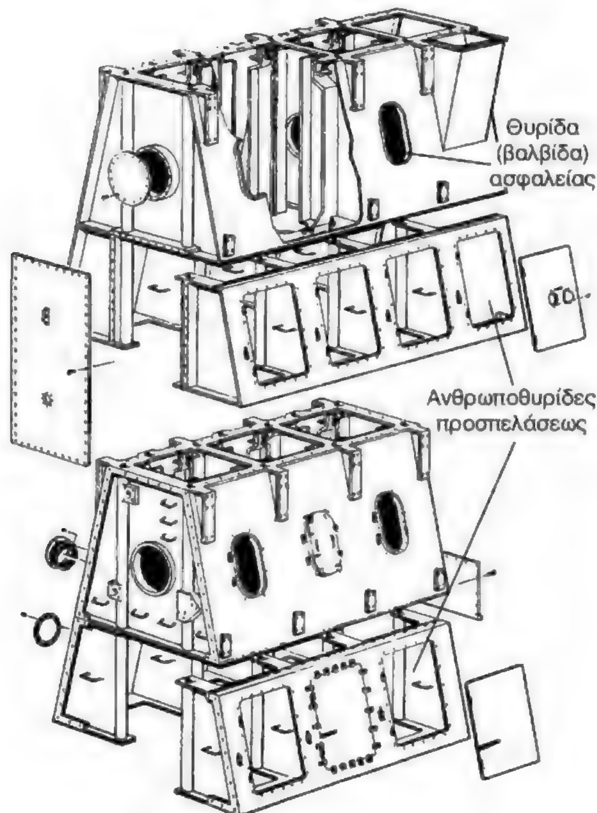
Σχ. 5.2στ.
Ανάλυση στοιχείου δομής δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων.

εγκαρσίων διαφραγμάτων δίνει και το αντίστοιχο όνομα στους εν λόγω σκελετούς (τύπου Α).

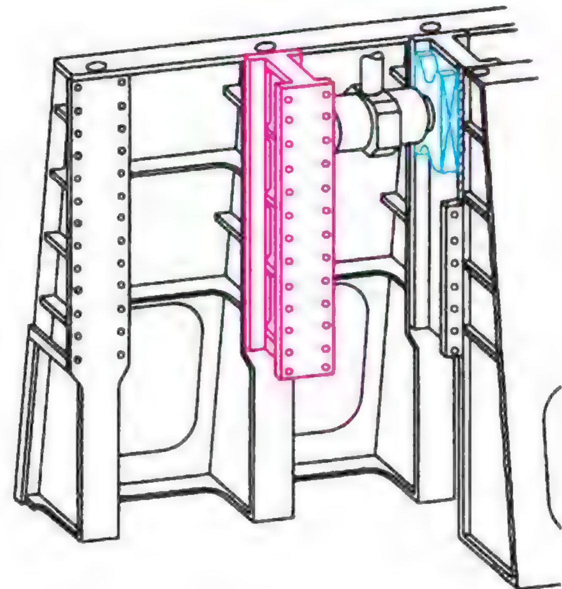
Τα εγκάρσια διαφράγματα κατασκευάζονται από ηλεκτροσυγκολλημένα χαλύβδινα ελάσματα. Επιτυγχάνεται έτσι σημαντική μείωση του βάρους και του όγκου (σε σύγκριση με αντίστοιχη χυτή κατασκευή, η οποία είναι απαγορευτική λόγω μεγέθους). Τα διαμήκη ελάσματα που συνδέουν τις κολόνες μεταξύ τους, φέρουν ευμεγέθη ανοίγματα [ανθρωποθυρίδες προσπελάσεως για τον έλεγχο - access doors, και βαλβίδες ασφαλείας για την εκτόνωση των αερίων σε πιθανή έκρηξη στροφαλοθαλάμου - explosion doors (σχ. 5.2ζ)]. Τα εγκάρσια διαφράγματα και τα διαμήκη ελάσματα έχουν τυποποιημένη μορφή για την ίδια σειρά μηχανών, οπότε προκύπτουν μηχανές με διαφορετικό αριθμό κυλίνδρων, εάν προ-στεθούν τα αντίστοιχα διαφράγματα και συνδεθούν με τα σχετικά διαμήκη ελάσματα.

Στο εσωτερικό του σκελετού κατασκευάζονται οι ευθυντηρίες (γλίστρες), ειδικοί κατακόρυφοι οδηγοί, πάνω στους οποίους κινούνται τα πέδιλα του ζυγώματος. Οι ευθυντηρίες είτε αποτελούν τμήμα των εγκαρσίων διαφραγμάτων είτε κατασκευάζονται ως ανεξάρτητα τμήματα που προσαρμόζονται πάνω στις κολόνες (σχ. 5.2η). Οι ευθυντηρίες παραλαμβάνουν τις οριζόντιες συνιστώσες των δυνάμεων που ασκούν οι διωστήρες στο ζύγωμα. Οι δυνάμεις αυτές έχουν αντίθετη φορά κατά τη φάση εκτονώσεως και συμπιέσεως, ενώ επιπρόσθετα έχουν μεταβαλλόμενο μέγεθος και σημείο εφαρμογής κατά την παλινδρομική κίνηση του ζυγώματος. Οι μεταβαλλόμενες αυτές δυνάμεις προκαλούν μεταβαλλόμενες ροπές στη βάση της μηχανής, οι οποίες τείνουν να την περιστρέψουν γύρω από τον άξονά της. Λόγω των ροπών αυτών, οι τάκοι της μίας πλευράς της μηχανής καταπονούνται ισχυρότερα σε θλίψη, ενώ στην άλλη πλευρά της μηχανής αυξάνει η εφελκυστική δύναμη στους συνδετήριους κοχλίες μεταξύ βάσεως και γάστρας. Με την αλλαγή της φοράς κινήσεως του εμβόλου, αντιστρέφεται και η φόρτιση της βάσεως. Αν και οι δυνάμεις αυτές είναι σχετικά μικρές, εάν προστεθούν στις υπόλοιπες φορτίσεις, μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα (σε περίπτωση φθοράς των τάκων και χαλαρώσεως των κοχλιών συγκρατήσεως).

Ο σκελετός της μηχανής συνδέεται με τη βάση και το σώμα των κυλίνδρων με ειδικούς κοχλίες ελαστικής μηκύνσεως, τους συνδέτες. Αυτοί διαπερνούν το σκελετό της μηχανής μέσα από κατακόρυφους σω-



Σχ. 5.2ζ.
Σκελετοί κινητήρων, όπου διακρίνονται ανοικτές οι θυρίδες προσπελάσεως.



Σχ. 5.2η.
Τμήμα σκελετού δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής, με τις ευθυντηρίες να αποτελούν πρόσθετο δομικό του στοιχείο. Διακρίνεται η επαφή των πελμάτων του ζυγώματος (μπλε) με μία από τις ευθυντηρίες.

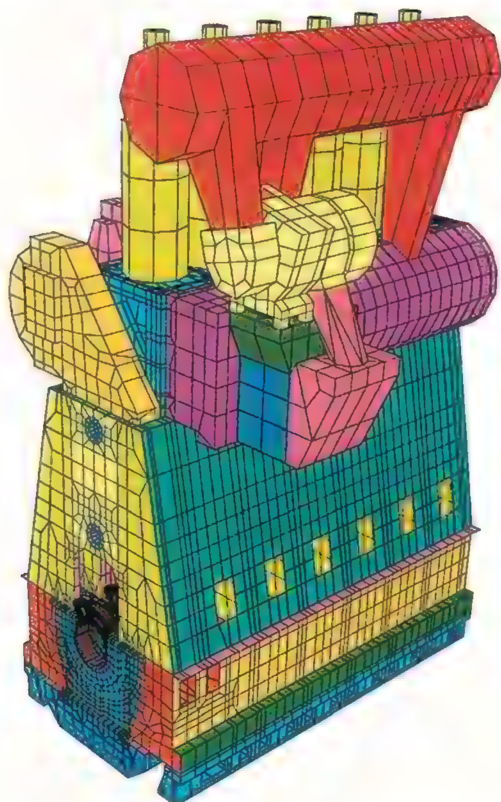
λήνες, οι οποίοι αποτελούν δομικό στοιχείο του σκελετού και αυξάνουν τη στρεπτική του ακαμψία.

Η σχεδίαση του σκελετού της μηχανής και ειδικά των εγκαρσίων διαφραγμάτων γίνεται με τη χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων (τρισδιάστατη ανάλυση σε πεπερασμένα στοιχεία - finite elements). Με τη χρήση τους είναι δυνατή η δοκιμή διαφορετικών διαμορφώσεων στη σχεδίαση των εγκαρσίων διαφραγμάτων, χωρίς να απαιτείται η κατασκευή πρωτοτύπων και η εκτέλεση δοκιμών, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους και του χρόνου αναπτύξεως (σχ. 5.2θ). Παράλληλα είναι δυνατή η εκ των προτέρων πρόβλεψη με ικανοποιητική ακρίβεια της συμπεριφοράς της δομής του κινητήρα σε δυναμικές φορτίσεις. Η πραγματική καταπόνηση της δομής του κινητήρα σε δυναμικές φορτίσεις ελέγχεται με την τοποθέτηση (σε πρότυπο κινητήρα) σε κατάλληλα επιλεγμένα σημεία μετρητών παραμορφώσεως (strain gauges), μέσω των οποίων υπολογίζονται οι αναπτυσσόμενες τάσεις (σχ. 5.2ι).

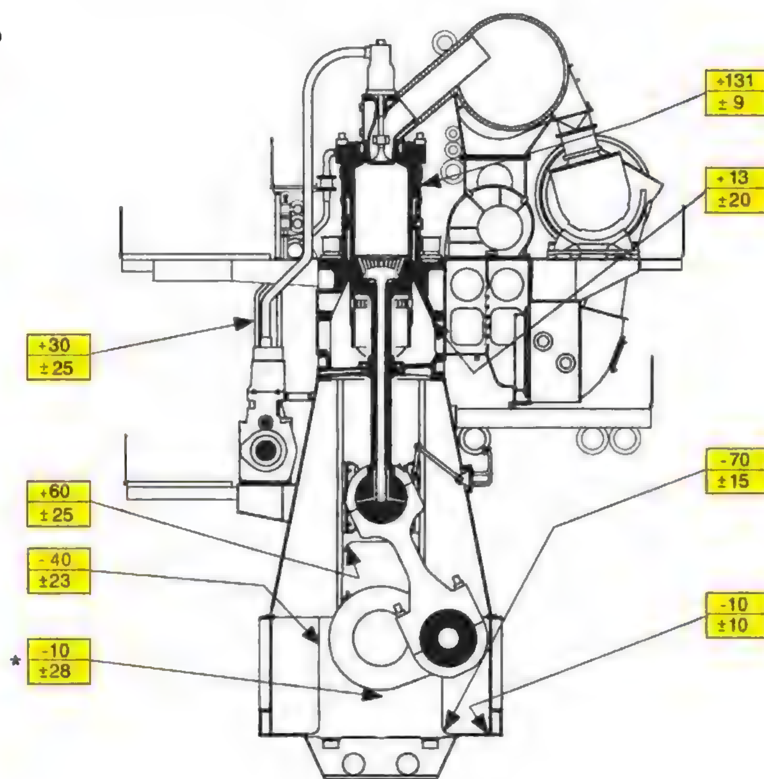
γ) Σώμα κυλίνδρων.

Το σώμα των κυλίνδρων στηρίζεται πάνω στο σκελετό της μηχανής και περικλείει τα χιτώνια των κυλίνδρων. Κατασκευάζεται είτε με χύτευση (χυτοσίδηρος) είτε με ηλεκτροσυγκολλητά χαλύβδινα ελάσματα. Δεν κατασκευάζεται σε ενιαίο σώμα, αλλά σε διαιρετά όμοια τμήματα, κάθε ένα από τα οποία περιβάλλει συνήθως έναν κύλινδρο. Τα τμήματα αυτά συνδέονται μεταξύ τους με οριζόντιους κοχλίες ελαστικής μηκύνσεως και με το σκελετό με τη βοήθεια κατακορύφων κοχλιών. Στην κάτω πλευρά του, κάθε τμήμα φέρει οπή, στην οποία προσαρμόζεται ο στυπειοθλίπτης, μέσα από τον οποίο περνά το βάκτρο. Στην άνω πλευρά του, φέρει μεγάλη οπή για την προσαρμογή του χιτωνίου του κυλίνδρου. Για τη σωστή τοποθέτηση του χιτωνίου εντός του σώματος των κυλίνδρων, κατασκευάζονται ειδικές κατακόρυφες ευθυντηρίες.

Το σώμα των κυλίνδρων στις δίχρονες πετρελαιομηχανές με θυρίδες εξαγωγής συνδέεται στις πλευρές του με τους οχετούς εισαγωγής και εξαγωγής. Στην περίπτωση που ο κινητήρας έχει βαλβίδες εξαγωγής, τότε πλευρικά στο σώμα των κυλίνδρων συν-



Σχ. 5.2θ.
Ανάλυση ολόκληρου του πετρελαιοκινητήρα με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων, για τον υπολογισμό της αντοχής του.



Σχ. 5.2ι.
Μέτρηση δυναμικής καταπονήσεως κινητήρα σε διάφορα σημεία της δομής του. Ο άνω αριθμός αντιστοιχεί στη μέση τιμή των τάσεων, ενώ ο κάτω αντιστοιχεί στο εύρος της ταλαντώσεως. Οι θετικοί αριθμοί αντιστοιχούν σε εφελκυστικές τάσεις και οι αρνητικοί σε θλιπτικές.

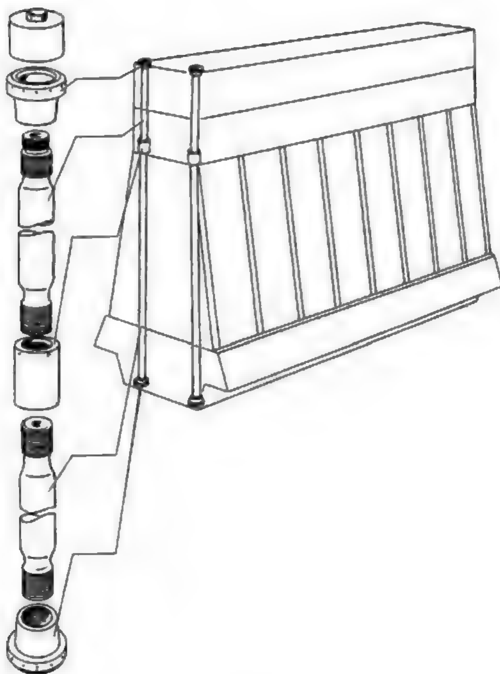
δέεται μόνο το σύστημα εισαγωγής του αέρα.

δ) Συνδέτες.

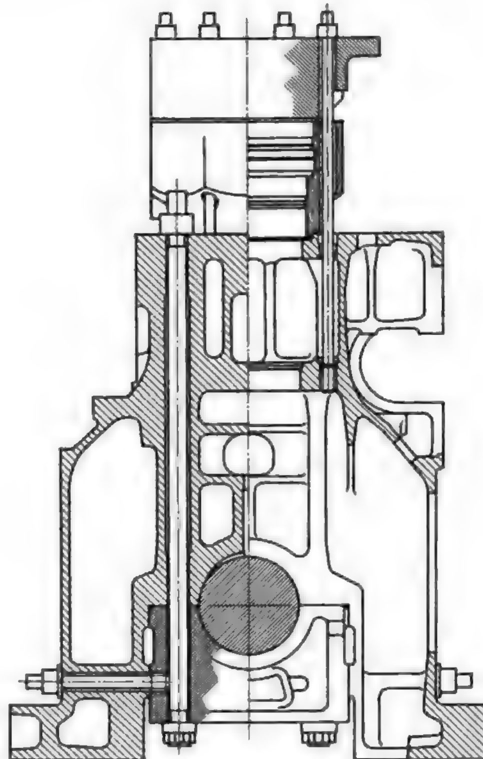
Οι συνδέτες είναι ειδικοί κοχλίες ελαστικής μηκύνσεως μεγάλου μήκους και μεταβλητής διατομής. Διατρέχουν κατακόρυφα το σώμα των κυλίνδρων, το σκελετό και τη βάση της μηχανής, συνδέοντάς τα μεταξύ τους (σχ. 5.2ια). Σε μεσόστροφες μηχανές, είναι δυνατόν να διατρέχουν και οριζόντια τον κινητήρα, συσφίγγοντας τα έδρανα βάσεως του στροφαλοφόρου άξονα (σχ. 5.2ιβ). Είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή παραλαβή των μεταβαλλομένων τάσεων από την καύση και από την παλινδρομική κίνηση των μαζών. Λόγω της δυναμικής καταπονήσεώς τους (ταλαντωτικές δυνάμεις) βρίσκονται πάντα υπό ισχυρή σύσφιγξη (προένταση). Με την εφαρμογή της προεντάσεως μειώνεται το πλάτος της ταλαντώσεως των τάσεων και αποτρέπεται ο κίνδυνος θραύσεως από κόπωση. Η μείωση του πλάτους στις ταλαντώσεις των τάσεων που καταπονούν τον κοχλία, βελτιώνεται με την αύξηση της ελαστικότητας του κοχλία (μείωση της σταθεράς ελατηρίου που τον χαρακτηρίζει). Αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση της διατομής στην κεντρική του περιοχή. Στην περιοχή των σπειρωμάτων, αντίθετα, η διατομή του κοχλία είναι αυξημένη (εκεί όπου εμφανίζεται ο μεγαλύτερος κίνδυνος θραύσεως από κόπωση, λόγω των εγκοπών των σπειρωμάτων).

Για τη σύσφιγξη ή τη χαλάρωση των συνδετών χρησιμοποιούνται ειδικά υδραυλικά εργαλεία. Κατά τη χαλάρωση των συνδετών, τα εργαλεία αυτά εφελκύουν τους συνδέτες, για να είναι δυνατή η λύση των περικοχλίων τους. Οι συνδέτες συσφίγγονται με ειδική σειρά και πάντα με την απαιτούμενη προένταση που προδιαγράφει ο κατασκευαστής. Σε περίπτωση που εφαρμόζεται μεγαλύτερη ροπή σύσφίγξεως, υπάρχει κίνδυνος πλαστικής παραμορφώσεως των σπειρωμάτων. Στην περίπτωση αντίθετα που εφαρμόζεται μικρότερη ροπή συσφίγξεως, αυξάνεται το πλάτος ταλαντώσεως των εφελκυστικών τάσεων που καταπονούν τους συνδέτες, με αποτέλεσμα να ελλοχεύει ο κίνδυνος θραύσεώς τους λόγω κοπώσεως. Κατά την αφαίρεση και επανατοποθέτηση των συνδετών λιπαίνονται πάντα τα σπειρώματά τους, ενώ ελέγχεται και η προέντασή τους.

Η προένταση των συνδετών είναι ουσιώδης και για την αύξηση της αντοχής του σκελετού, της βάσεως και του σώματος των κυλίνδρων της μηχανής.



Σχ. 5.2ια.
Μορφή και τοποθέτηση συνδετών σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή.



Σχ. 5.2ιβ.
Μορφή και τοποθέτηση συνδετών σε τετράχρονη μεσόστροφη εν σειρά πετρελαιομηχανή.

Εφαρμόζοντας μία συνεχή θλιπτική τάση στα παραπάνω τμήματα, εξουδετερώνονται οι εφελκυστικές τάσεις και έτσι αυξάνεται η αντοχή τους. Οι τάσεις αυτές προκαλούνται από τις δυνάμεις της καύσεως και τις αδρανειακές δυνάμεις της κινήσεως των παλινδρομούντων μαζών.

5.2.2 Μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.

Στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές (ως επί το πλείστον τετράχρονες) ο σκελετός, το σώμα των κυλίνδρων και η βάση της μηχανής κατασκευάζονται συνήθως σε ενιαίο τμήμα, και δεν υπάρχει χαρακτηριστική διάκριση μεταξύ των αντιστοίχων τμημάτων (κατασκευή monoblock). Κάτω από το σκελετό της μηχανής συνδέεται στεγανά η ελαιολεκάνη, η οποία στους μεσόστροφους κινητήρες αποτελεί ανεξάρτητο τμήμα με χαρακτηριστική κοίλη μορφή. Είναι ελαφριάς κατασκευής, από ηλεκτροσυγκολλημένα χαλύβδινα ελάσματα. Η ελαιολεκάνη διαθέτει βάνες αποστραγγίσεως στα δύο άκρα του κινητήρα, ενώ περιλαμβάνει και τον κύριο αγωγό για τη διανομή του ελαίου λιπάνσεως.

Η κατασκευή του σκελετού γίνεται συνήθως με χύτευση, χρησιμοποιώντας ως υλικό κατασκευής φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη (nodular cast iron), με ιδιαίτερα υψηλή καθαρότητα. Στοιχεία όπως ο φωσφόρος, το θείο, ο μόλυβδος και το αντιμόνιο βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, διότι προκαλούν σημαντική μείωση της αντοχής του. Ο φαιός χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή και παραμόρφωση θραύσεως, καθώς και μεγαλύτερη αντίσταση σε διάβρωση και φθορά από τον κοινό φαιό χυτοσίδηρο με φυλλοειδή γραφίτη. Διαθέτει μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας, με αποτέλεσμα να επιδέχεται μικρότερες παραμορφώσεις για δεδομένες δυνάμεις, χαρακτηριστικό ουσιώδες για την απροβλημάτιστη λειτουργία των εδράσεων του στροφαλοφόρου άξονα. Λόγω της μεγαλύτερης αντοχής του σε σχέση με το φαιό χυτοσίδηρο με φυλλοειδή γραφίτη, προσφέρει τη δυνατότητα κατασκευής μηχανών με μικρότερο βάρος. Επιπρόσθετα, έχει πολύ καλά αντιτριβικά χαρακτηριστικά, υψηλή χυτευσιμότητα και ικανότητα αποσβέσεως κραδασμών, χαρακτηριστικό σημαντικό για την ομαλή λειτουργία του κινητήρα.

Για τη μείωση του κόστους κατασκευής και επισκευής, πολλοί αγωγοί (ελαίου λιπάνσεως, νερού ψύξεως, καυσίμου και αέρα) κατασκευάζονται ενσωματωμένοι στο σκελετό του κινητήρα, με αποτέλεσμα, να προκύπτουν κινητήρες πιο συμπαγείς, με μικρότερο αριθμό τμημάτων και συνεπώς μικρότερο αριθμό προβλημάτων. Στα πλάγια του σκελετού υπάρχουν θυρίδες προσιτότητας, τα καλύμματα των οποίων εφοδιάζονται με ασφαλιστικές βαλβίδες για την περίπτωση εκρήξεως στο στροφαλοθάλαμο.

Εκτός από τη χυτή κατασκευή του σκελετού, υπάρχουν και μεσόστροφες πετρελαιομηχανές, που κατασκευάζονται από ηλεκτροσυγκολλημένα ελάσματα χάλυβα.

Ο στροφαλοφόρος άξονας προσαρμόζεται στο κάτω μέρος του σκελετού. Εδράζεται στα αντίστοιχα έδρανα, τα οποία είναι ιδιαίτερα αυξημένης αντοχής (συνήθως κατασκευασμένα με χύτευση από φαιό χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη). Μεγάλου μήκους συνδέτες διατρέχουν συνήθως το σκελετό, συνδέοντας τα καλύμματα των εδράνων του στροφαλοφόρου άξονα με το σκελετό, δημιουργώντας προένταση στα συνδεόμενα τμήματα του κινητήρα και αυξάνοντας συνεπώς την αντοχή τους. Συχνά, τα έδρανα συνδέονται και με οριζόντιους εγκάρσιους κοχλίες στο σκελετό της μηχανής, έτσι ώστε να είναι περισσότερο άκαμπτη η έδραση του στροφαλοφόρου άξονα.

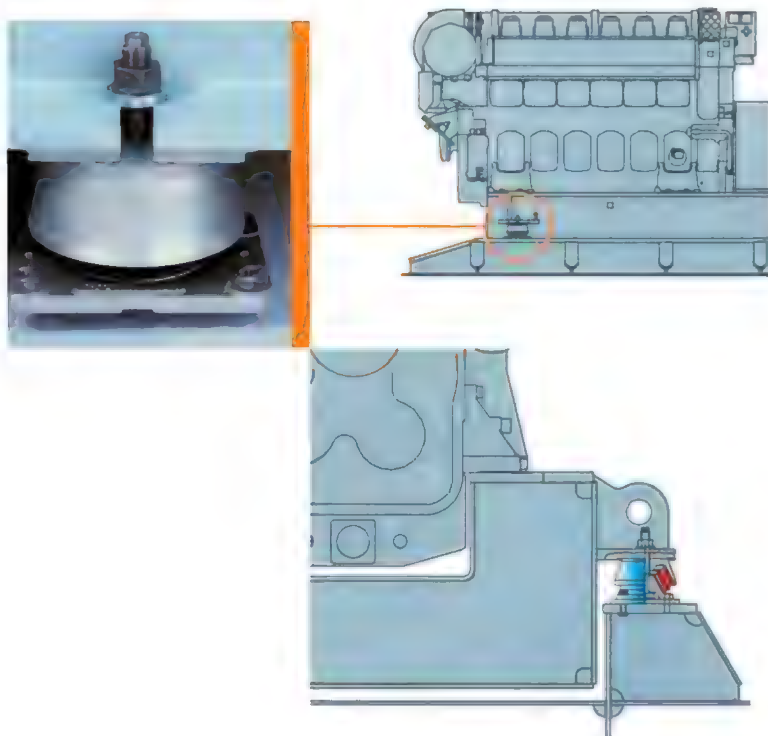
Στο κατώτερο τμήμα του σκελετού, δεξιά και αριστερά της ελαιολεκάνης, βρίσκονται τα σημεία εδράσεως του κινητήρα. Η έδραση, σε αντίθεση με τους αργόστροφους πετρελαιοκινητήρες μεγάλης ισχύος, γίνεται συχνά με τη χρήση καταλλήλων ελαστικών συνδέσμων. Οι σύνδεσμοι αυτοί μειώνουν σημαντικά τη μετάδοση των κραδασμών του κινητήρα προς τη γάστρα του πλοίου, αποσβένοντας τις ταλαντώσεις του κινητήρα (σχ. 5.2ιγ). Η ελαστική αυτή έδραση των κινητήρων αυτού του τύπου, προϋποθέτει αυξημένη ακαμψία του σκελετού του κινητήρα. Το υλικό των ελαστικών συνδέσμων είναι φυσικό καουτσούκ, το οποίο έχει καλύτερα χαρακτηριστικά από τα συνθετικά υποκατάστατα. Επειδή προσβάλλονται από το καύσιμο και τα λιπαντικά, οι ελαστικοί σύνδεσμοι, καλύπτονται με προστατευτικά καλύμματα. Κατά την ευθυγράμμιση της μηχανής πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η παραμόρφωση των ελαστικών συνδέσμων λόγω της θερμικής διαστολής τους και του ερπυσμού του ελαστικού.

Ο αριθμός των ελαστικών συνδέσμων που χρησιμοποιούνται, επιλέγεται με κριτήριο την αποφυγή συντονισμών μεταξύ των κυρίων μηχανών του πλοίου, των ηλεκτρομηχανών και των ελίκων. Για το λόγο αυτό, ο αριθμός των συνδέσμων και η θέση τους μεταβάλλεται με τον αριθμό των κυλίνδρων της μηχανής, την ταχύτητα περιστροφής της έλικας και τον αριθμό των πτερυγίων της.

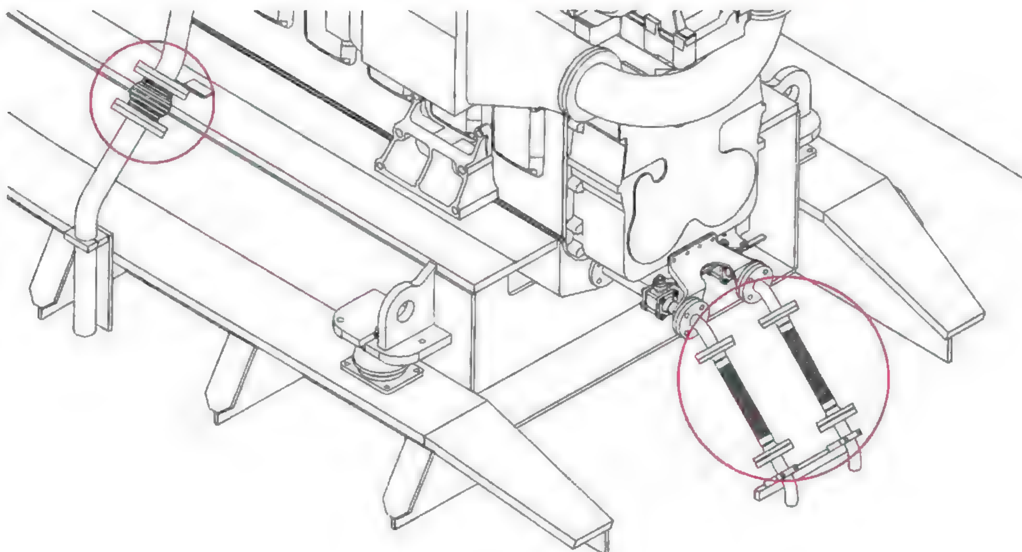
Η στήριξη των ελαστικών συνδέσμων στη γάστρα

του πλοίου γίνεται με χρήση κοχλιών και τάκων (μεταλλικών ή από εποξική ρητίνη). Με τη χρήση των τάκων ρυθμίζεται η συμπίεση των ελαστικών συνδέσμων. Η συμπίεση πρέπει να είναι ίση για όλους του συνδέσμους κατά την τοποθέτηση της μηχανής.

Επειδή η σύνδεση της μηχανής δεν είναι σταθερή, και εμφανίζονται μετατοπίσεις κατά τη λειτουργία της (ειδικά στην έναρξη και το σταμάτημα), όλες οι συνδέσεις των αγωγών από και προς τη μηχανή πρέπει να είναι ελαστικές (σχ. 5.2ιδ).



Σχ. 5.2ιγ.
Μορφή και τοποθέτηση των ελαστικών συνδέσμων, για την έδραση τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής.



Σχ. 5.2ιδ.
Σύνδεση των δικτύων τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής με τη χρήση, υποχρεωτικά, ελαστικών σωλήνων, λόγω της ελαστικής εδράσεως της πετρελαιομηχανής.

Οι μεγαλύτερες από τις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές συνδέονται σταθερά στη γάστρα του πλοίου με μεταλλικούς τάκους ή εποξικές ρητίνες και κοχλίες όπως οι αργόστροφες πετρελαιομηχανές. Η προστασία της μηχανής από πλάγιες μετατοπίσεις και η παραλαβή των αντιστοίχων δυνάμεων γίνεται με τη χρήση πλευρικών αναστολέων (side stoppers), που συγκολλούνται στη γάστρα, όπως και στις αργόστροφες μηχανές.

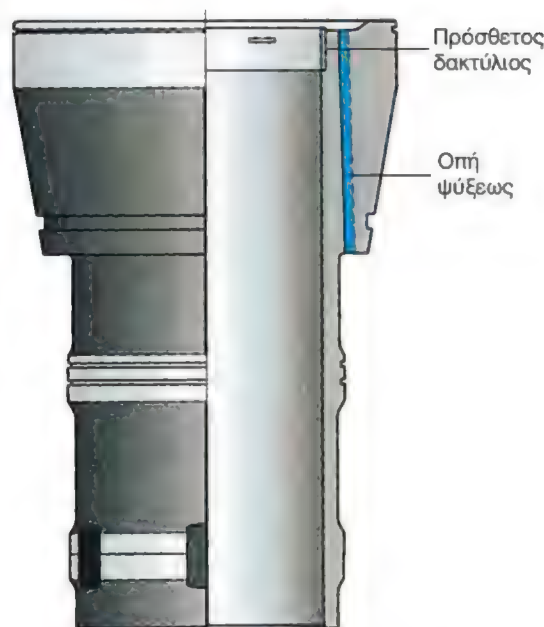
5.3 Χιτώνια (cylinder liners).

5.3.1 Είδη χιτωνίων.

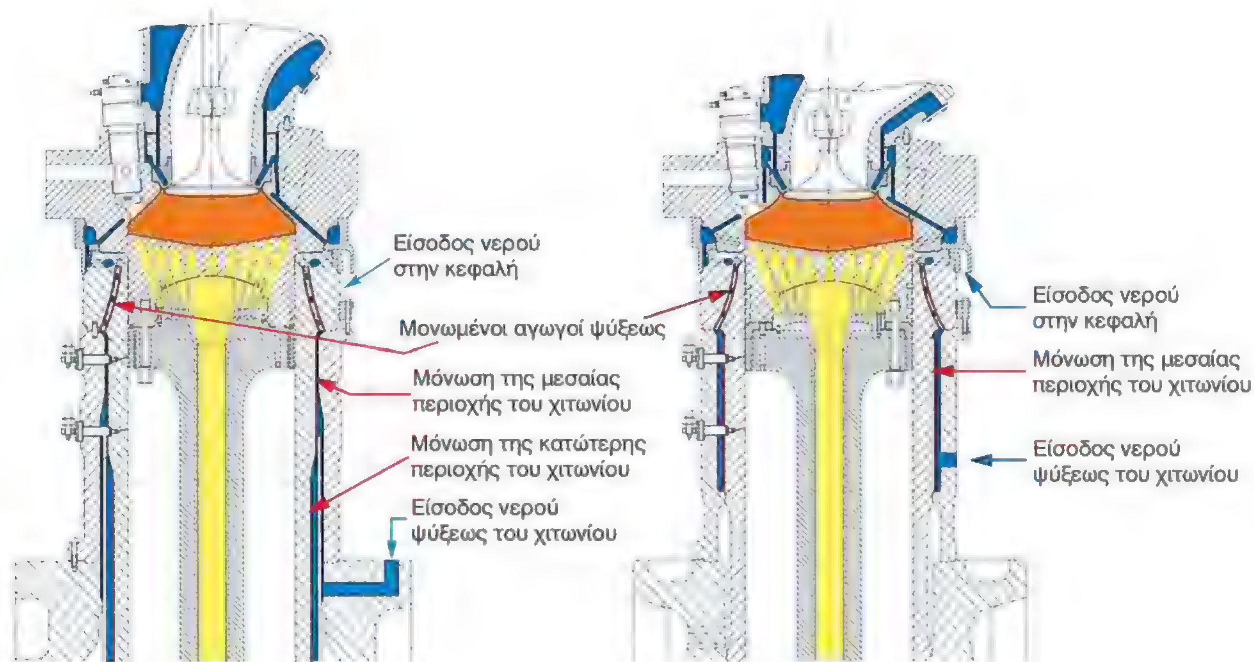
Τα χιτώνια χωρίζονται σε δύο τύπους, ανάλογα με το σύστημα ψύξεώς τους, στα υγρά και τα ξηρά.

Τα ***υγρά*** χιτώνια έρχονται σε άμεση επαφή με το νερό ψύξεως, δηλαδή η εξωτερική επιφάνεια του χιτωνίου μαζί με μια κοιλότητα του σώματος των κυλίνδρων (ή του κορμού της μηχανής) σχηματίζουν υδροθάλαμο, στον οποίο κυκλοφορεί το νερό ψύξεως. Οι υδροθάλαμοι μπορεί επίσης, να είναι κατασκευασμένοι με διάτρηση και στο εσωτερικό του χιτωνίου, συνήθως στο ανώτερο τμήμα του (σχ. 5.3α και 5.3β).

Στην περίπτωση που ο υδροθάλαμος κατασκευάζεται μεταξύ χιτωνίου και σώματος των κυλίνδρων, για να μην υπάρχει διαρροή του νερού ψύξε-



Σχ. 5.3α.
Χιτώνιο τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής με οπές ψύξεως στο ανώτερο τμήμα του. Διακρίνεται ο πρόσθετος δακτύλιος για την απόξεση των εξανθρακωμάτων από την κορώνα του εμβόλου.



Σχ. 5.3β.
Εναλλακτικά συστήματα για την ψύξη χιτωνίων δίχρονης πετρελαιομηχανής. Στο χιτώνιο δεξιά έχει αφαιρεθεί η ψύξη από το κατώτερο τμήμα του, απλοποιώντας την εγκατάσταση και την κατασκευή του.

ως προς το στροφαλοθάλαμο και οξειδωθεί το λάδι της λιπάνσεως (με αποτέλεσμα την καταστροφή του), γίνεται στεγανοποίηση του υδροθαλάμου στο κατώτερο τμήμα του με τη χρήση ελαστικών δακτυλίων. Οι ελαστικοί δακτύλιοι είναι κατασκευασμένοι από συνθετικό ελαστικό, το οποίο πρέπει να είναι ανθεκτικό σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, καθώς και στην επίδραση λαδιών και πετρελαίου. Επιτρέπουν δε την ελεύθερη συστολή και διαστολή του χιτωνίου, χωρίς κίνδυνο διαρροών.

Τα ***ξηρά*** χιτώνια δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το νερό ψύξεως. Αντίθετα, ψύχονται μεταδίδοντας θερμότητα προς το ψυχόμενο σώμα των κυλίνδρων, με το οποίο έρχονται σε επαφή. Η τοποθέτησή τους στο εσωτερικό του σώματος των κυλίνδρων γίνεται με σφιχτή συναρμογή (εφαρμόζοντας θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ χιτωνίου και σώματος κυλίνδρων) ή με χρήση ειδικής εποξικής κόλλας, για την εξασφάλιση πολύ καλής επαφής και υψηλού ρυθμού απαγωγής θερμότητας. Τα ξηρά χιτώνια δεν χρησιμοποιούνται στις μεσόστροφες και αργόστροφες ναυτικές μηχανές, αλλά μόνο στις ταχύστροφες.

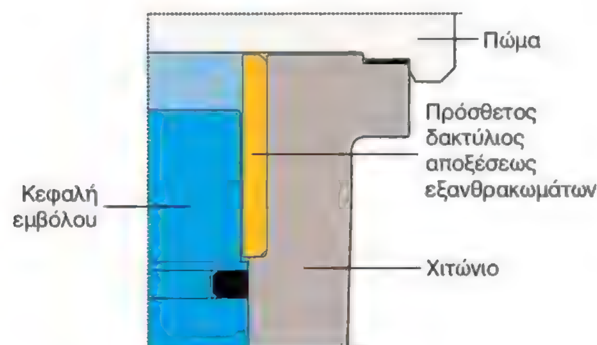
5.3.2 Κατασκευή χιτωνίων – Υλικά.

Το κύριο υλικό κατασκευής των χιτωνίων είναι ο φαιός χυτοσίδηρος. Αν και ο χάλυβας εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή σε κόπωση και διάδοση ρωγμών, προτιμάται ο φαιός χυτοσίδηρος λόγω της ευκολίας που παρέχει στην κατασκευή του χιτωνίου με χύτευση, αλλά κυρίως λόγω της ικανότητας αυτολιπάνσεως του χυτοσιδήρου (εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας γραφίτη που περιέχει). Χρησιμοποιείται είτε φαιός χυτοσίδηρος με φυλλοειδή γραφίτη, είτε φαιός χυτοσίδηρος με σφαιροειδή γραφίτη. Ο πρώτος έχει καλύτερα χαρακτηριστικά αυτολιπάνσεως, ενώ ο δεύτερος έχει μεγαλύτερη αντοχή, επειδή η σφαιρική μορφή των κόκκων γραφίτη στη δομή του χυτοσιδήρου δεν δημιουργεί συγκεντρώσεις τάσεων. Επειδή συνήθως, δεν ενδιαφέρει τόσο η αντοχή του χιτωνίου (αφού αυτό υποστηρίζεται από το σώμα των κυλίνδρων), προτιμάται η χρήση φαιού χυτοσιδήρου με φυλλοειδή γραφίτη, για την αύξηση της ικανότητας αυτολιπάνσεως και τη μείωση των τριβών εξαιτίας της επαφής των ελατηρίων.

Παλαιότερα, τα χιτώνια κατασκευάζονταν από καλής ποιότητας φαιό χυτοσίδηρο χωρίς πρόσθετα για αύξηση της αντοχής. Με την εισαγωγή όμως πετρελαίων χαμηλής ποιότητας (βαρέα πετρέλαια) άρχισαν να χρησιμοποιούνται χυτοσίδηροι με πρόσθετα, για την αύξηση της αντοχής στη φθορά και τη διάβρωση, λόγω της παρουσίας του θείου στο καύσιμο. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στο χυτοσίδηρο, είναι συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο και βανάδιο.

Η κατασκευή των χιτωνίων γίνεται με φυγοκεντρική χύτευση. Η μέθοδος αυτή δίνει λεπτόκοκκη δομή στο μέταλλο, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής του. Προσφέρει επίσης πολύ καλή ποιότητα εξωτερικής επιφάνειας και διαστατική ακρίβεια, ενώ τυχόν ανεπιθύμητες προσμείξεις στο μέταλλο συγκεντρώνονται στο εσωτερικό του χιτωνίου. Στη συνέχεια, αφαιρούνται με εσωτερική τόρνευση. Ακολουθεί εσωτερική λείανση του χιτωνίου, με σκοπό τη μείωση της τραχύτητας της επιφάνειας, τη μείωση των τριβών και την υποβοήθηση της δημιουργίας ομοιόμορφης λιπαντικής μεμβράνης. Στις νεότερες κατασκευές με έμβολα, που φέρουν κεραμικές επιστρώσεις στα πρώτα ελατήρια συμπιέσεως, η εσωτερική λείανση του χιτωνίου επιβάλλεται να είναι εξαιρετική.

Στο ανώτερο τμήμα τους τα χιτώνια συχνά κατασκευάζονται με εσωτερική διαβάθμιση, όπου προσαρμόζεται αφαιρούμενος δακτύλιος από χάλυβα υψηλής αντοχής (σχ. 5.3α και 5.3γ). Στην εν λόγω περιοχή εμφανίζονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες και πιέσεις (στην αρχή της φάσεως της καύσεως), οπότε δημιουργούνται και οι μεγαλύτερες φθορές. Με την αλλαγή του αφαιρούμενου δακτυλίου δεν απαιτείται η αλλαγή ολοκλήρου του χιτωνίου. Ο συγκεκριμένος πρόσθετος δακτύλιος, έχει μικρότερη εσωτερική διάμετρο από τη διάμετρο του χιτωνίου. Με τη διαβάθμισή του αυτή αποξένει τα εξανθρακώματα που σχηματίζονται στην περίμετρο της κεφαλής (κορώνας) του εμβόλου. Τα εξανθρακώματα αυτά τρίβουν και λειαίνουν ανομοιόμορφα το χιτώνιο, από-



Σχ. 5.3γ.
Πρόσθετος δακτύλιος στην κορυφή του χιτωνίου, για την απόξεση των εξανθρακωμάτων της κεφαλής (κορώνας) του εμβόλου. Στην αντίστοιχη περιοχή το έμβολο έχει μικρότερη διάμετρο.

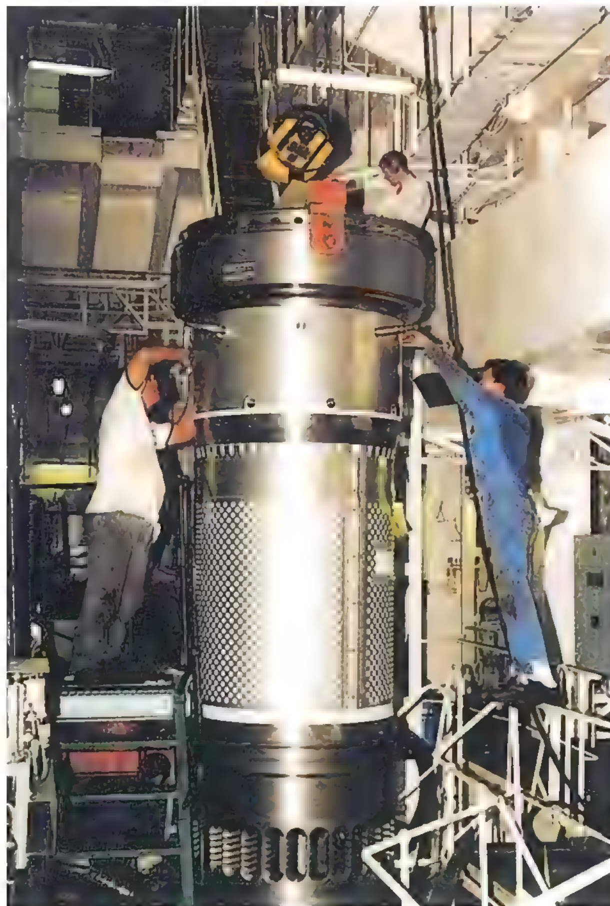
τε καταστρέφεται η ομοιόμορφη τραχύτητα επιφάνειας, που έχει δώσει η αρχική του λείανση. Έτσι, τα ελατήρια αδυνατούν να δημιουργήσουν ομοιόμορφη λιπαντική μεμβράνη και αυξάνεται η φθορά τους και η κατανάλωση λιπαντικού. Με την εφαρμογή του συγκεκριμένου δακτυλίου μειώνεται η φθορά στο χιτώνιο, ενώ μειώνεται και η κατανάλωση λιπαντικού. Άλλη εναλλακτική μέθοδος προστασίας του χιτωνίου είναι η επίστρωσή του με κεραμικά υλικά υψηλής σκληρότητας και αντοχής.

Συναντάται επίσης, η κατασκευή του χιτωνίου σε δύο τμήματα (άνω και κάτω). Το άνω τμήμα που φθείρεται σε μικρότερο χρόνο, αφαιρείται και αντικαθίσταται.

Για την αύξηση της αντοχής των χιτωνίων με ταυτόχρονη διατήρηση της αυτολιπάνσεως, γίνεται προσπάθεια να κατασκευασθούν σύνθετα χιτώνια. Το εξωτερικό τμήμα τους αποτελείται από χυτοχάλυβα με πρόσθετα χρώμιο και μολυβδαίνιο. Το εσωτερικό τους κατασκευάζεται από φαιό χυτοσίδηρο με φυλλοειδή γραφίτη. Η κατασκευή γίνεται με φυγοκεντρική χύτευση, όπου πρώτα χυτεύεται το εξωτερικό τμήμα και στη συνέχεια (χωρίς διακοπή της διαδικασίας) το εσωτερικό, οπότε προκύπτει ενιαίο τεμάχιο με συνδυασμό υλικών. Το εξωτερικό τμήμα από χάλυβα αυξάνει την αντοχή με μειωμένο βάρος, ενώ το εσωτερικό από χυτοσίδηρο διατηρεί τις πολύ καλές αντιτριβικές ιδιότητες.

Για να διευκολυνθεί η ψύξη του χιτωνίου με την παράλληλη διατήρηση της αντοχής του, χρησιμοποιείται η μέθοδος της δημιουργίας αγωγών ψύξεως με διάτρηση (bore cooling). Διανοίγονται εξωτερικά οπές με διάτρηση, οι οποίες φθάνουν αρκετά κοντά στην εσωτερική επιφάνεια του χιτωνίου. Βελτιώνουν έτσι την απαγωγή θερμότητας και αυξάνουν τη διάρκεια της ζωής του (σχ. 5.3α και 5.3β). Παράλληλα, η αντοχή διατηρείται, γιατί δεν μειώνεται το πάχος του χιτωνίου. Η ψύξη του χιτωνίου γίνεται συνήθως στο ανώτερο τμήμα του, όπου εμφανίζονται και οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Η ψύξη μειώνεται συνεχώς βαίνοντας προς το κάτω μέρος του χιτωνίου. Για να μην υπάρχει υπερβολική ψύξη του χιτωνίου (που προκαλεί αύξηση των θερμικών τάσεων και της φθοράς με τη χρήση των βαρέων πετρελαίων), εφαρμόζεται η επικάλυψη των υδροθαλάμων και των αγωγών ψύξεως με τεφλόν (σχ. 5.3δ).

Στα χιτώνια των διχρόνων αργοστρόφων πετρελαιομηχανών με βάκτρο και ζύγωμα, η λίπανση πραγματοποιείται με την έγχυση κυλινδρελαίου από περιφερειακά διατεταγμένες οπές. Οι οπές αυτές καταλήγουν εσωτερικά σε σχισμές, για την ομοιόμορφη διανομή του λιπαντικού. Μπορεί να είναι διατεταγμένες σε δύο ζώνες περιμετρικά του χιτωνίου, για να διανέμεται ομοιόμορφα το κυλινδρέλαιο (σχ. 5.3ε). Οι σχισμές κατασκευάζονται υπό γωνία (σε κυμματοειδή μορφή), έτσι ώστε να μην



Σχ. 5.3δ.
Τοποθέτηση χιτωνίου σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή. Διακρίνονται οι θυρίδες εισαγωγής, καθώς και η εξωτερική μόνωση για την προστασία του χιτωνίου από υπερβολική πτώση της θερμοκρασίας του.



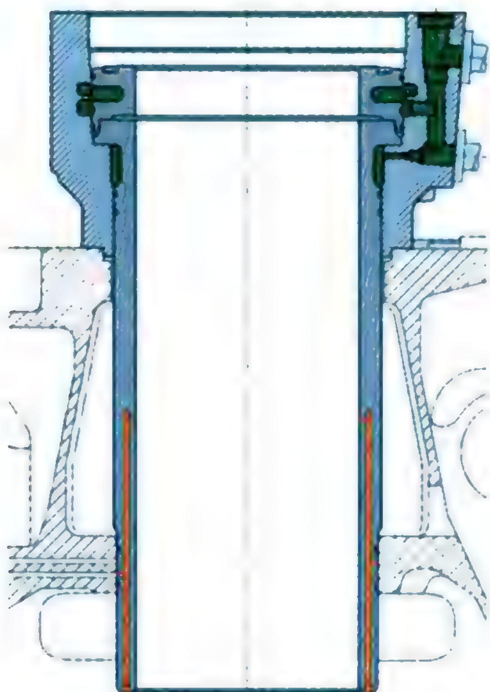
Σχ. 5.3ε.
Εσωτερική επιφάνεια χιτωνίου σε δίχρονη πετρελαιομηχανή, όπου διακρίνονται οι σχισμές για τη διανομή του κυλινδρελαίου.

φθείρονται υπέρμετρα τα ελατήρια. Στις τετράχρονες μηχανές η λίπανση του χιτωνίου είτε πραγματοποιείται με έγχυση λαδιού από το έμβολο (μέσα από τα ελατήρια λαδιού), είτε με λάδι που προσάγεται από ειδικές οπές στην περιφέρεια του χιτωνίου (σχ. 5.3στ).

Πριν την κανονική λειτουργία του κινητήρα προηγείται «στρώσιμο» των χιτωνίων. Αυτό πραγματοποιείται στο εργοστάσιο μετά την κατασκευή της μηχανής, ή όταν γίνεται αντικατάσταση των χιτωνίων, ή μετά την αντικατάσταση των ελατηρίων των εμβόλων. Το στρώσιμο πραγματοποιείται με σταδιακή αύξηση του φορτίου και χρήση ειδικών κυλινδρελαίων (ή και ειδικών ελατηρίων) για συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας και στροφές μηχανής, όπως ορίζονται από τον κατασκευαστή.

5.3.3 Καταπονήσεις χιτωνίων.

Τα χιτώνια καταπονούνται λόγω των υψηλών πιέσεων και των υψηλών θερμοκρασιών που εμφανίζονται στο εσωτερικό τους, κυρίως κατά τη διάρκεια της καύσεως. Παράλληλα, η εσωτερική τους επιφάνεια υπόκειται σε ισχυρή τριβή με τα ελατήρια του εμβόλου, προξενώντας σημαντική φθορά.



Σχ. 5.3στ.
Τομή χιτωνίου σε τετράχρονη μεσόστροφη πετρελαιομηχανή, με ανεξάρτητο ανώτερο τμήμα. Διακρίνονται οι υδροθάλαμοι και οι αγωγοί ψύξεως στο πάνω μέρος, καθώς και οι αγωγοί του λιπαντικού στο κάτω τμήμα του.

Επειδή οι πιέσεις είναι μεγαλύτερες στην αρχή της φάσεως της καύσεως, όταν το έμβολο βρίσκεται ακόμη κοντά στο ΑΝΣ, το ανώτερο τμήμα του χιτωνίου κατασκευάζεται συνήθως με παχύτερα τοιχώματα, για την αύξηση της αντοχής του στην εν λόγω περιοχή. Οι εσωτερικές πιέσεις προκαλούν στο χιτώνιο εφελκυστικές τάσεις.

Οι θερμικές καταπονήσεις οφείλονται στη μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού τμήματος του χιτωνίου, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων εντός του χιτωνίου και της εξωτερικής ψύξεώς του. Η εσωτερική υψηλή θερμοκρασία τείνει να διαστέλλει εσωτερικά το χιτώνιο. Η διαστολή αυτή εμποδίζεται από την κεφαλή των κυλίνδρων και από το εξωτερικό ψυχόμενο τμήμα των χιτωνίων, το οποίο εμφανίζει μικρότερη διαστολή. Αποτέλεσμα αυτού είναι να εμφανίζεται θλιπτική φόρτιση στο εσωτερικό του τμήμα, ενώ αντίθετα, στο εξωτερικό του τμήμα η φόρτιση είναι εφελκυστική. Οι αντίθετες αυτές τάσεις αυξάνουν με την αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας του χιτωνίου. Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές, όπου τα θερμικά φορτία είναι μεγαλύτερα, εμφανίζονται γενικά μεγαλύτερες θερμικές καταπονήσεις.

Ο εφελκυσμός λόγω των πιέσεων συνδυάζεται με τις θερμικές καταπονήσεις και μειώνει τις θλιπτικές τάσεις στην εσωτερική επιφάνεια του χιτωνίου, ενώ αντίστοιχα αυξάνει τις εφελκυστικές τάσεις στο εξωτερικό του χιτωνίου (σχ. 5.3ζ).

Η κυκλική μεταβολή της θερμοκρασίας και της πιέσεως στο εσωτερικό του χιτωνίου δημιουργεί συνθήκες δυναμικής καταπονήσεως, οπότε ο κύριος κίνδυνος αστοχίας είναι από κόπωση με εμφάνιση και διάδοση ρωγμών.

5.3.4 Φθορές χιτωνίων.

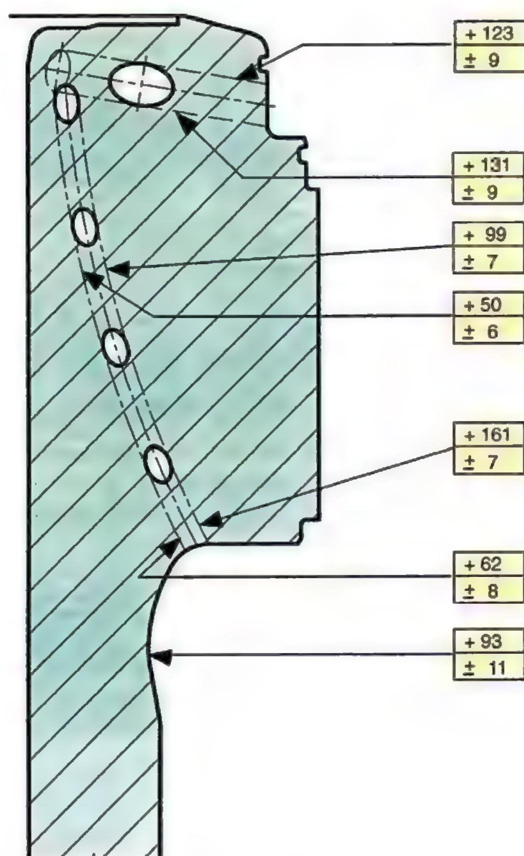
Η φθορά του χιτωνίου οφείλεται σε διάφορες αιτίες, οι βασικότερες των οποίων αναπτύσσονται στη συνέχεια:

– ***Επιλογή ανεπαρκούς υλικού κατασκευής.*** Η φθορά αυτή αποφεύγεται με την επιλογή καταλλήλων υλικών (φαιός χυτοσίδηρος με μικρή περιεκτικότητα σε φωσφόρο και πυρίτιο, τα οποία μειώνουν την αντοχή του χυτοσιδήρου). Επίσης, πρέπει να γίνεται συνδυασμένη επιλογή υλικού χιτωνίου και ελατηρίων. Συνήθως το χιτώνιο κατασκευάζεται από φυλλοειδή γραφίτη, ενώ τα ελατήρια από φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη, ο οποίος εμφανίζει λιγότερη

ικανότητα αυτολιπάνσεως, αλλά μεγαλύτερη αντοχή.

– ***Υπερβολική ψύξη του χιτωνίου*** που προκαλεί αύξηση των θερμικών τάσεων, αύξηση των φθορών από τη δράση των συμπυκνώσεων θειικού οξέος στο εσωτερικό του κυλίνδρου και αύξηση της ποσότητας των εξανθρακωμάτων. Θεραπεύεται εάν μονωθούν οι υδροθαλάμοι και οι οπές ψύξεως με τεφλόν. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στη θερμοκρασία εισόδου του νερού ψύξεως (η οποία δεν πρέπει ποτέ να πέφτει κάτω από 55° C). Η ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως γίνεται με κατάλληλους θερμοστάτες και με τη χρήση αγωγών παρακάμψεως και διακοπτών αναμείξεως. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η διαφορά θερμοκρασίας νερού εξόδου και νερού εισόδου είναι της τάξεως των 10° C.

– ***Κακό στρώσιμο του χιτωνίου,*** όταν είναι καινούργιο ή προέρχεται από επισκευή, στις 10 - 20 πρώτες ώρες λειτουργίας της μηχανής. Συνήθως, η λειτουργία της μηχανής γίνεται με πετρέλαιο Diesel, με σταδιακή αύξηση του φορτίου, ενώ ελέγχεται συνεχώς το λάδι για πιθανή παρουσία ρινισμάτων.



Σχ. 5.3ζ.
Εφελκυστικές (θετικές) τάσεις στις ψυχόμενες επιφάνειες του χιτωνίου σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή. Ο άνω αριθμός δίνει τη μέση τιμή της τάσεως, ενώ ο κάτω δίνει το εύρος της μεταβολής της.

– ***Αντικανονικά διάκενα (ανοχές – ελευθερίες) στα ελατήρια του εμβόλου.***

– ***Παραμόρφωση του χιτωνίου και κακή ευθυγράμμιση εμβόλου, βάκτρου, στροφάλου.*** Η παραμόρφωση του χιτωνίου μπορεί να οφείλεται σε υπερφόρτιση του κυλίνδρου, λόγω των μεγάλων τάσεων από τις πιέσεις και τις θερμοκρασίες στο θάλαμο καύσεως. Επίσης τοπικές παραμορφώσεις προκαλούνται λόγω ανομοιόμορφης ψύξεως του χιτωνίου.

– ***Κακό φιλτράρισμα του αέρα*** στα φίλτρα, με συνέπεια την εισαγωγή σκόνης μέσα στον κύλινδρο.

– ***Κακή καύση ή κακή ποιότητα πετρελαίου.*** Η κακή καύση ή η κακή ποιότητα καυσίμου, δημιουργούν εξανθρακώματα, τα οποία εναποτίθενται στα ελατήρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η τριβή και συνακόλουθα η φθορά των χιτωνίων. Επιπλέον, τα ελατήρια κολλάνε στα αυλάκια του εμβόλου, αυξάνοντας τη φθορά του χιτωνίου.

– ***Κακή λίπανση,*** οπότε αυξάνεται η θερμοκρασία και οι αντίστοιχες τάσεις, ενώ αυξάνεται και η πιθανότητα καταστροφής του λιπαντικού.

– ***Ανεπάρκεια λαδιού*** με αποτέλεσμα την ελλιπή λίπανση και ψύξη και κατά συνέπεια τη φθορά των χιτωνίων.

– ***Περίσσεια λαδιού,*** που έχει ως συνέπεια τη δημιουργία εξανθρακωμάτων από καμένο λάδι. Τα εξανθρακώματα συσσωρεύονται στους αύλακες των ελατηρίων, με αποτέλεσμα το κόλλημα των ελατηρίων.

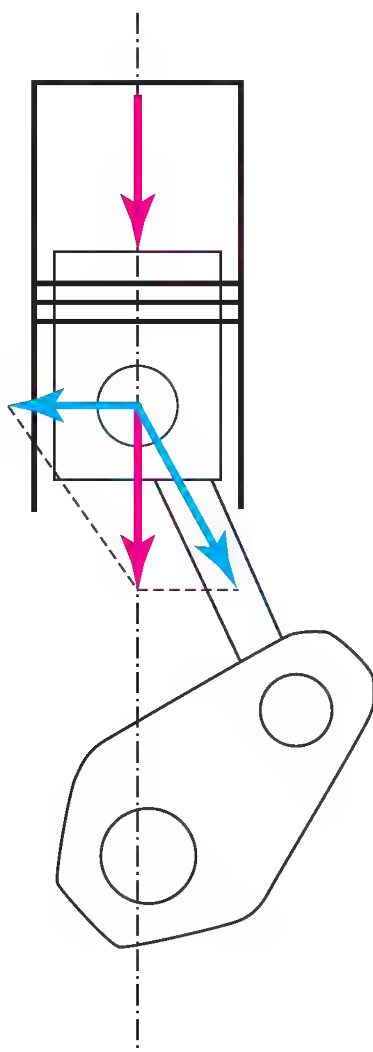
– ***Λανθασμένη επιλογή λαδιού.*** Το χαμηλό ιξώδες του λαδιού έχει ως αποτέλεσμα την εύκολη ροή του λιπαντικού, οπότε δεν συγκρατείται στις τριβόμενες επιφάνειες, μειώνεται το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης στα τοιχώματα των χιτωνίων και αυξάνονται οι τριβές. Η επίδραση της αλκαλικότητας του λαδιού αναλύεται σε επόμενη παράγραφο.

– ***Ελλειπτική φθορά του χιτωνίου,*** που οφείλεται στην πλαγιότητα του διωστήρα.

α) Ελλειπτική (οβάλ) φθορά χιτωνίων.

Στην περίπτωση που ο κινητήρας έχει διωστήρα

που προσαρμόζεται κατ' ευθείαν στο έμβολο (απουσία βάκτρου, μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές), η δύναμη από τα καυσαέρια, αναλύεται σε μία συνιστώσα κατά τη διεύθυνση του στελέχους του διωστήρα και σε μία οριζόντια συνιστώσα, κάθετη στα τοιχώματα του χιτωνίου, στο ύψος του πείρου του εμβόλου (σχ. 5.3η). Η φορά της δυνάμεως αλλάζει με την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ. Η οριζόντια αυτή δύναμη εφαρμόζεται σε διεύθυνση κάθετη στον πείρο του εμβόλου και προκαλεί αυξημένη τριβή στις αντίστοιχες απέναντι επιφάνειες του χιτωνίου. Ως αποτέλεσμα, προκαλεί ανομοιόμορφη φθορά, οδηγώντας σε ελλειπτική (οβάλ) διαμόρφωση της διατομής του χιτωνίου, σε σχέση με την αρχική κυκλική.



Σχ. 5.3η.
Ανάλυση της δυνάμεως από τα καυσαέρια σε διεύθυνση παράλληλη με το στέλεχος του διωστήρα και σε οριζόντια διεύθυνση, κάθετη στον άξονα του πείρου του εμβόλου. Η οριζόντια συνιστώσα της δυνάμεως προκαλεί την ελλειπτική φθορά του χιτωνίου.

Η ελλειπτική φθορά έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των διακένων μεταξύ ελατηρίων και του χιτωνίου και την απώλεια συμπιέσεως προς το στροφαλοθάλαμο. Επιπλέον προκαλεί την τοπική καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης πάνω στο χιτώνιο (οπότε αυξάνεται η φθορά του χιτωνίου) και τη δηλητηρίαση του λιπαντικού από τα εισερχόμενα καυσαέρια στο στροφαλοθάλαμο. Το πρόβλημα επιτείνεται γιατί, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται από τα διαφεύγοντα καυσαέρια, τα ελατήρια χάνουν την ελαστικότητά τους.

Η διόρθωση της ελλειπτικής φθοράς των χιτωνίων, όταν αυτή υπερβεί συγκεκριμένες τιμές, γίνεται με την εφαρμογή εσωτερικής λειάνσεως (ρεκτιφιέ). Επειδή με τη λείανση αυξάνεται η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου, τοποθετούνται στη συνέχεια ελατήρια αυξημένης διαμέτρου (oversize). Για να μειωθεί ο ρυθμός αυξήσεως της ελλειπτικής φθοράς αυξάνεται η επιφανειακή σκληρότητα του χιτωνίου με επιχρωμίωση, εναζώτωση ή προσθήκη στο χυτοσίδηρο νικελίου και χρωμίου.

β) Φθορά εκτριβής.

Το σπάσιμο σε κάποιο σημείο του χιτωνίου της λιπαντικής μεμβράνης προκαλεί στιγμιαία επαφή των μετάλλων του χιτωνίου και των ελατηρίων, με αποτέλεσμα την τοπική αποκόλληση υλικού. Η αρχική αυτή εκτριβή εξελίσσεται γιατί στο συγκεκριμένο σημείο η τραχύτητα που έχει δημιουργηθεί δυσχεραίνει το σχηματισμό ομαλής λιπαντικής μεμβράνης, οπότε η διάβρωση επιταχύνεται. Η εκτριβή ενισχύεται από την εναπόθεση τέφρας και εξανθρακωμάτων στα ελατήρια και στην κεφαλή του εμβόλου και από την παρουσία τους στο λιπαντικό. Η παρουσία των εξανθρακωμάτων στην κεφαλή του εμβόλου προκαλεί ανομοιόμορφη «λείανση» της επιφάνειας του χιτωνίου. Αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή του πρόσθετου δακτυλίου στην κορυφή του χιτωνίου και με την αντίστοιχη διαβάθμιση στο έμβολο, οπότε με την άνοδο του εμβόλου στο ΑΝΣ αφαιρούνται οι περιφερειακές επικαθήσεις από την κεφαλή του εμβόλου.

Η καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης μπορεί να οφείλεται σε κακή ευθυγράμμιση του κινηματικού μηχανισμού, ελλιπή λίπανση, κακή ποιότητα λιπαντικού (μικρό ιξώδες, παρουσία εξανθρακωμάτων), υπερβολικό διάκενο ελατηρίων (λόγω φθοράς ή κολλήματός τους στο έμβολο), κακή επιλογή υλι-

κού ελατηρίων, απώλεια της ελαστικότητάς τους λόγω υψηλής θερμοκρασίας ή γηράνσεως, υπερφόρτιση κινητήρα με αποτέλεσμα το κάψιμο του λιπαντικού και στρέβλωση του χιτωνίου ή των ελατηρίων.

*γ) **Φθορά χιτωνίων λόγω της χρήσεως βαρέων πετρελαίων.***

Τα βαρέα πετρέλαια περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό, ανεπιθύμητα για τη λειτουργία της μηχανής, προϊόντα, όπως είναι τα ασφαλτικά προϊόντα, οξείδια σιδήρου, νικέλιο, ασβέστιο, νάτριο, μαγνήσιο, βανάδιο και θείο. Τα προϊόντα αυτά καιγόμενα, δημιουργούν ανθρακώδη κατάλοιπα που επικάθονται στα έμβολα, στις θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής και προκαλούν υπερβολική φθορά στα παραπάνω τμήματα.

Τα ασφαλτικά προϊόντα δεν απομακρύνονται εύκολα από το βαρύ πετρέλαιο κατά τη φυγοκέντρισή του. Δεν καίγονται καθόλου ή καίγονται κακώς, με αποτέλεσμα να επικάθονται στα χιτώνια (ιδιαίτερα στις θυρίδες), καθώς και στις εγκοπές (αυλάκια) των ελατηρίων των εμβόλων.

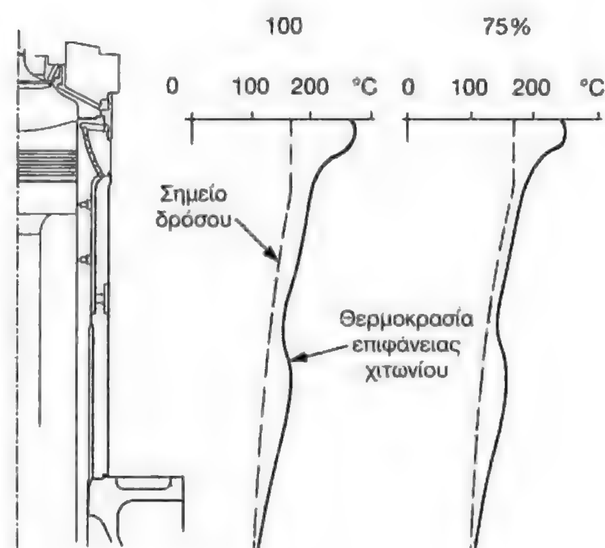
Λόγω της οξειδώσεως των μειγμάτων σιδήρου, νικελίου, ασβεστίου, νατρίου, μαγνησίου και βαναδίου, σχηματίζεται η τέφρα (οξείδια των παραπάνω στοιχείων). Η τέφρα αυτή προκαλεί φθορά κατά τη διάρκεια της παλινδρομήσεως και της τριβής των κινουμένων τμημάτων της μηχανής. Για να ελαττωθεί η φθορά λόγω της τριβής, θα πρέπει μετά τη διαδικασία καθαρισμού στους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες, η περιεκτικότητα των παραπάνω ανεπιθυμήτων προσμείξεων στο πετρέλαιο να είναι μικρότερη από 0,004%.

Το περιεχόμενο θείο στο καύσιμο αντιδρά με τους υδρατμούς της καύσεως, σχηματίζοντας θειικό οξύ (H_2SO_4), το οποίο υγροποιούμενο, επικάθεται στις πλευρές των χιτωνίων, των εμβόλων και των ελατηρίων, η δε ενέργειά του δεν είναι απλώς διαβρωτική, αλλά συνδυασμός διαβρώσεως και τριβής (ψυχρή διάβρωση - cold corrosion).

Γενικά, τα χιτώνια και τα ελατήρια των πετρελαιομηχανών κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο, ο οποίος είναι ένα ετερογενές μέταλλο. Συνεπώς, με την παρουσία οξέος (ηλεκτρολύτης), θα δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού. Η περλιτική δομή του χυτοσιδήρου, η οποία είναι αρνητική ως προς τα στρώματα του γραφίτη, διαβρώνεται λόγω της ηλεκτρολυτικής ενέργειας. Στη συνέχεια, η μηχανική τριβή μεταξύ των επιφανειών των ελατηρίων και του χιτωνίου, προκαλεί την απόσπαση διαβρωμένων κομματιών, με αποτέλεσμα την αύξηση των ρινισμάτων από την τριβή, τη δημιουργία ανωμάλων επιφανειών και τη φθορά τους.

Ο σχηματισμός του θειικού οξέος στην εσωτερική επιφάνεια του χιτωνίου εντείνεται, όταν η θερμοκρασία του χιτωνίου πέσει κάτω από το σημείο δρόσου. Για το λόγο αυτό, δεν πρέπει να γίνεται υπερβολική ψύξη του χιτωνίου (σχ. 5.3θ). Τα βαρέα πετρέλαια έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε θείο, οπότε αυξάνουν σημαντικά τον κίνδυνο φθοράς στα χιτώνια των κινητήρων.

Παλαιότερα η αντιμετώπιση της φθοράς από το θείο γινόταν με τη διατήρηση της θερμοκρασίας των χιτωνίων σε υψηλά επίπεδα. Από τη δεκαετία του ’60 που άρχισαν να χρησιμοποιούνται ειδικά αλκαλικά κυλινδρέλαια, το πρόβλημα λύθηκε σε μεγάλο βαθμό. Επιτράπηκε έτσι η καύση βαρέων πετρελαίων με σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο, χωρίς να υπάρχει σημαντικό πρόβλημα φθοράς των χιτωνίων. Για την αποτελεσματική εξουδετέρωση του θείου, απαιτείται προσεκτική επιλογή κυλινδρελαίου, ανάλογα με την ποιότητα του καυσίμου. Κυλινδρέλαιο περισσότερο αλκαλικό από ό,τι χρειάζεται οδηγεί στη δημιουργία επικαθήσεων στην περίμετρο της κεφαλής του εμβόλου. Οι επικαθήσεις αυτές αποξύνουν το λιπαντικό και αυξάνουν τις φθορές. Αντίθετα, κυλινδρέλαιο λιγότερο αλκαλικό από το αναγκαίο, δεν εξουδετερώνει πλήρως τα οξέα, οπότε αυξάνονται οι φθορές.



Σχ. 5.3θ.
Μεταβολή της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια του χιτωνίου σε δύο διαφορετικά φορτία (100% και 75%) και σύγκριση με το κατώτερο επιτρεπτό όριο, που καθορίζεται από το σημείο δρόσου.

Καθώς το κυλινδρέλαιο απλώνεται στην επιφάνεια του χιτωνίου, λόγω της δράσεως των ελατηρίων, χάνει σταδιακά τις ιδιότητες εξουδετερώσεως των οξέων και προκαλείται έτσι, μία χαρακτηριστική ανομοιόμορφη περιφερειακά διάβρωση σε σχήμα τριφυλλιού.

Στα μερικά φορτία της μηχανής υπάρχει αυξημένος κίνδυνος φθοράς από την επίδραση του θειικού οξέος, λόγω της υπερβολικής ψύξεως του χιτωνίου. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζεται σε αργόστροφες μηχανές ρυθμιζόμενη ψύξη του κατώτερου τμήματος του χιτωνίου, από ξεχωριστό κύκλωμα. Το ανεξάρτητο αυτό κύκλωμα επιτρέπει τη μείωση της ψύξεως του συγκεκριμένου τμήματος στα μερικά φορτία, χωρίς να επηρεάζεται η ψύξη του ανώτερου τμήματος του χιτωνίου, όπου επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες.

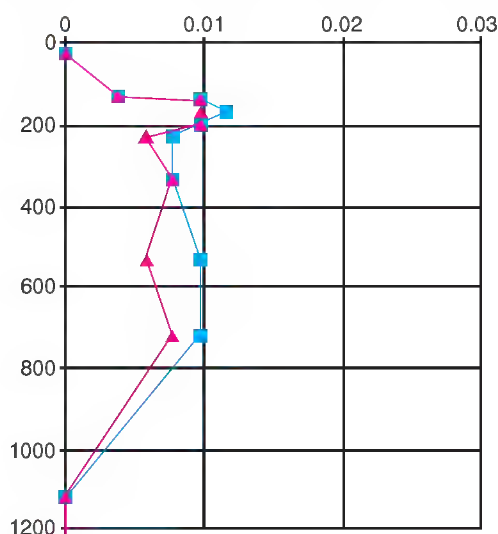
δ) Φθορά χιτωνίων στο ανώτερο τμήμα τους.

Κατά την αρχική φάση της καύσεως το ανώτερο τμήμα των χιτωνίων καταπονείται περισσότερο σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Λόγω της μικρής ταχύτητας του εμβόλου στην περιοχή του ΑΝΣ και της αντιστροφής της φοράς κινήσεώς του, ο σχηματισμός της υδροδυναμικής λιπαντικής μεμβράνης είναι δυσχερής. Συνοδεύεται επίσης από την καταστροφή του λιπαντικού, λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών της καύσεως. Τα ελαφρύτερα κλάσματα του λιπαντικού εξατμίζονται ή και καίγονται, ενώ το υπόστρωμα άνθρακα που απομένει, δεν έχει ικανοποιητικές λιπαντικές ιδιότητες. Παράλληλα, οι υψηλές πιέσεις των καυσαερίων προκαλούν ισχυρότερες δυνάμεις στα ελατήρια στεγανότητας, οπότε αυξάνονται αντίστοιχα οι δυνάμεις τριβής. Έτσι, οι φθορές στο ανώτερο τμήμα του χιτωνίου είναι μεγαλύτερες, ενώ η δημιουργία τους ευνοείται από τη μείωση της αντοχής του χυτοσιδήρου στις υψηλές θερμοκρασίες (σχ. 5.3ι). Ως αποτέλεσμα, αυξάνεται (ανομοιόμορφα) το διάκενο μεταξύ του χιτωνίου και του εμβόλου, μειώνοντας τη στεγανότητα των ελατηρίων, οπότε η φθορά επιταχύνεται.

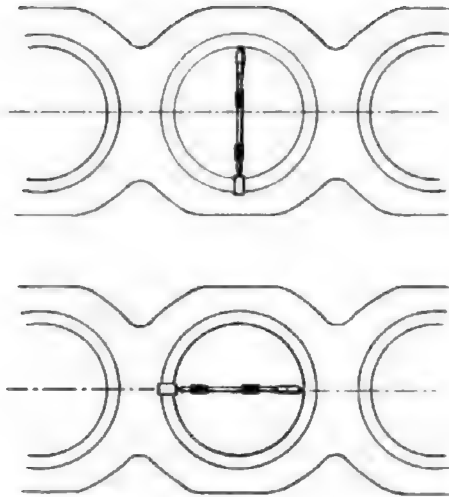
ε) Μέτρηση φθοράς χιτωνίων.

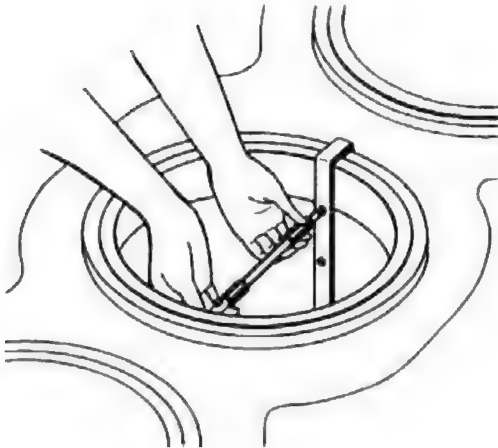
Η μέτρηση της φθοράς του χιτωνίου πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, που ορίζονται από τον κατασκευαστή (σε ώρες λειτουργίας, που ποικίλλουν ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και το είδος της μηχανής). Ειδικά για ναυτικές μηχανές, η μέτρησή της είναι απαραίτητη για να προγραμματισθεί η αντικατάσταση των χιτωνίων σε συνάρτηση με τον προγραμματισμό των ταξιδιών του πλοίου. Η μέτρηση της διαμέτρου στο χιτώνιο πραγματοποιείται με τη χρήση αναλογικών ή ψηφιακών μικρομέτρων μεγάλης ακρίβειας σε διαφορετικές θέσεις ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση. Γίνεται επίσης σε δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες, έναν παράλληλο προς το στροφαλοφόρο άξονα και έναν κάθετο σε αυτόν (σχ. 5.3ια). Η μέτρηση της φθοράς πρέπει να γίνεται σε προδιαγεγραμμένη θερμοκρασία του χιτωνίου, γιατί αύξηση της θερμοκρασίας του προκαλεί διαστολές, που αλλοιώνουν τις μετρήσεις. Πολλοί κατασκευαστές προσφέρουν συστήματα για τη συνεχή παρακολούθηση της φθοράς του χιτωνίου και των ελατηρίων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν αισθητήρες προσαρμοσμένους στη μηχανή.

Γενικά, σε μεγάλες αργόστροφες μηχανές οι ρυθμοί φθοράς είναι της τάξεως του 0,1 mm ανά 1000 ώρες λειτουργίας, που αναλογούν σε μια γενική επισκευή περίπου κάθε δύο χρόνια. Οι ρυθμοί όμως αυτοί τείνουν να μειωθούν ακόμη περισσότερο. Οι μικρότερες μηχανές εμφανίζουν μικρότερες φθορές λόγω της καλύτερης ποιότητας καυσίμου (στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιούν βαρέα πετρέλαια) και της μικρότερης θερμικής καταπονήσεως. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούν βαρέα πετρέλαια, η μη χρησιμοποίηση ειδικών αλκαλικών κυλινδρελαίων προκαλεί αυξημένες φθορές στο χιτώ-



Σχ. 5.3ι.
Μεταβολή της ειδικής φθοράς του χιτωνίου (φθορά σε mm ανά 1000 ώρες λειτουργίας), σε συνάρτηση με την απόσταση από την κορυφή του χιτωνίου. Διακρίνεται η αυξημένη φθορά στην ανώτερη περιοχή του.





Σχ. 5.3ια.
Μέτρηση της φθοράς του χιτωνίου με τη χρήση ειδικού οδηγού με οπές που καθορίζουν τα ύψη μετρήσεως. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε δύο διευθύνσεις, παράλληλα και κάθετα στον άξονα της μηχανής.

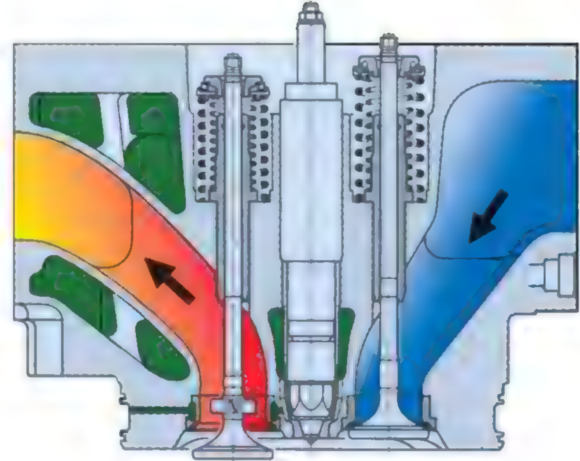
νιο σε σύγκριση με τις αργόστροφες μηχανές.

Η φθορά των χιτωνίων είναι ταχύτερη στην αρχική περίοδο στρωσίματος του χιτωνίου και στο τέλος της ωφέλιμης ζωής των ελατηρίων, ως αποτέλεσμα της αυξήσεως των διακένων τους και της επιβαρημένης λόγω φθορών επιφάνειάς τους.

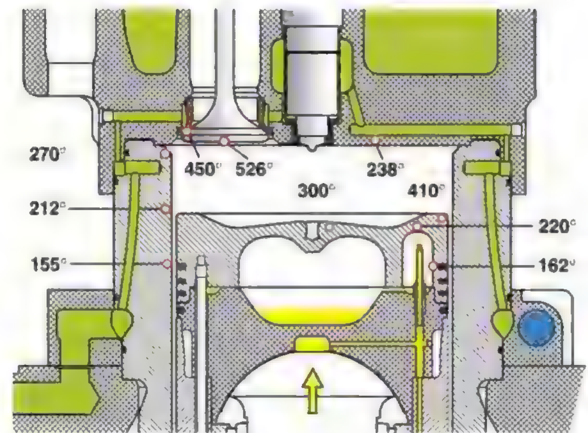
5.4 Κεφαλή (πώμα) κυλίνδρων (cylinder head).

5.4.1 Γενικά.

Σε αντίθεση με τις μηχανές μικρής ισχύος, στις μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος, αντιστοιχεί ξεχωριστή κεφαλή για κάθε κύλινδρο της μηχανής. Η



Σχ. 5.4α.
Κεφαλή τετράχρονου κινητήρα σε τομή, όπου διακρίνονται οι οχετοί εισαγωγής και εξαγωγής, οι βαλβίδες, ο εγχυτήρας πετρελαίου στο κέντρο και οι θάλαμοι ψύξεως.



Σχ. 5.4β.
Διάταξη ψύξεως και θερμοκρασίες (σε ^{o}C) που αναπτύσσονται σε διάφορα σημεία του θαλάμου καύσεως, σε μεσόστροφη τετράχρονη πετρελαιομηχανή, ισχύος 1200 kW ανά κύλινδρο.

κεφαλή περιλαμβάνει τους θαλάμους καύσεως, τα ανοίγματα εδράσεως των βαλβίδων, τους οχετούς εισαγωγής αέρα και εξαγωγής καυσαερίων, τα ανοίγματα για την τοποθέτηση των εγχυτήρων (μπεκ) και μια σειρά από βάσεις και θέσεις άλλων στοιχείων και οργάνων της κατά περίπτωση μηχανής (π.χ. δυναμοδεικτικός κρουνός, άνοιγμα για το σύστημα προσαγωγής του αέρα εκκινήσεως, ασφαλιστική βαλβίδα κ.λ.π.). Φέρει εσωτερικά οπές ψύξεως και οχετούς ψύξεως (υδροθάλαμοι), οι οποίοι ψύχουν και τις έδρες των βαλβίδων (σχ. 5.4α και 5.4β).

Η κεφαλή (πώμα) στερεώνεται επάνω στο σώμα των κυλίνδρων με ειδικούς κοχλίες. Η σειρά συ-

σφίγξεως και η ροπή συσφίγξεως των κοχλιών είναι καθορισμένη από τον κατασκευαστή. Σε περίπτωση μη τηρήσεως των παραπάνω προδιαγραφών, υπάρχει ο κίνδυνος στρεβλώσεως του πώματος και απώλειας της στεγανότητάς του.

Μεταξύ του πώματος και του χιτωνίου παρεμβάλλεται συχνά μεταλλικός δακτύλιος για την εξασφάλιση της στεγανοποιήσεως του θαλάμου καύσεως. Ο δακτύλιος τοποθετείται σε ειδική διαβάθμιση και δεν έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια του θαλάμου καύσεως.

5.4.2 Υλικό κατασκευής – Κατασκευή πωμάτων.

Η κεφαλή των κυλίνδρων κατασκευάζεται από φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη, φαιό χυτοσίδηρο με φυλλοειδή γραφίτη, κράματα χυτοσιδήρου ή χυτοχάλυβα ή σφυρήλατο χάλυβα. Στις μηχανές μικρής ισχύος κατασκευάζεται συχνά από κράματα αλουμινίου.

Η χύτευση είναι η κύρια μέθοδος κατασκευής πωμάτων μεσοστρόφων μηχανών, με τη χρήση φαιού χυτοσιδήρου ή χυτοχάλυβα. Σε συνθήκες θερμικής καταπονήσεως ο φαιός χυτοσίδηρος έχει ικανοποιητική συμπεριφορά στις θερμικές φορτίσεις. Σε περίπτωση που προστεθούν στοιχεία κραματώσεως για την αύξηση της αντοχής του, μειώνεται η θερμική αγωγιμότητα και αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας, αντισταθμίζοντας τα κέρδη από την αύξηση της αντοχής.

Ο χάλυβας έχει καλύτερη συμπεριφορά από το χυτοσίδηρο σε κόπωση αλλά είναι προβληματική η χύτευσή του σε πολύπλοκες γεωμετρίες. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος εσωτερικής οξειδώσεως των αγωγών ψύξεως, οπότε πρέπει να χρησιμοποιούνται στο ψυκτικό υγρό αντιοξειδωτικά πρόσθετα.

Παλαιότερα, στις μεγάλες αργόστροφες πετρελαιομηχανές, επειδή πάνω από τους 380^{o}C εμφανίζονταν ρωγμές, τα πώματα κατασκευάζονταν σε δύο τμήματα. Το άνω τμήμα που μεταφέρει τα φορτία από την καύση του καυσίμου στο σώμα του κυλίνδρου, κατασκευαζόταν από χυτοσίδηρο, ενώ το κάτω τμήμα, κατασκευαζόταν από χάλυβα, λόγω των μεγάλων θερμικών καταπονήσεων. Πολλές φορές τα πώματα από χυτοσίδηρο έφεραν ενισχυτικό χαλύβδινο δακτύλιο για παραλαβή μέρους των τάσεων κατά τη σύσφιγξη του πώματος στον κύλινδρο.

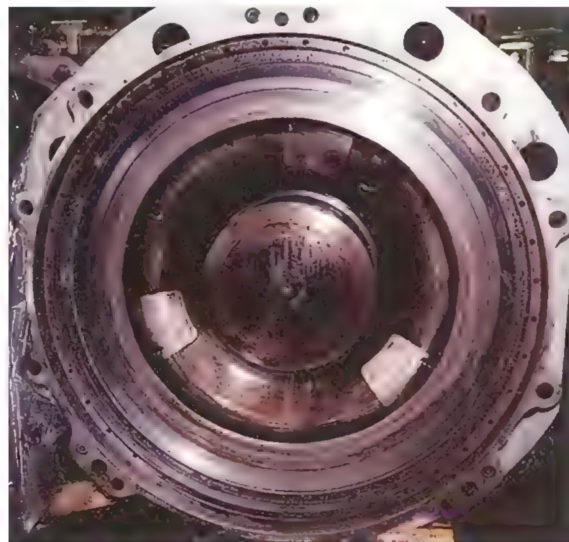
Στις σύγχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές το πώμα κατασκευάζεται μονοκόμματο από σφυρήλατο χάλυβα με προσμείξεις νικελίου, χρωμίου και μολυβδαινίου, για την αύξηση της αντοχής. Οι οπές ψύξεως διανοίγονται με δράπανο.

Σε μηχανές μεγάλης ισχύος (αλλά και σε μεσόστροφες μηχανές) κατασκευάζεται αφαιρετός βαλβιδοφορέας, δηλαδή, αφαιρετό κομμάτι βαλβίδας - έδρας, έτσι ώστε να μην αφαιρείται το πώμα, όταν θα πρέπει να αφαιρεθεί η βαλβίδα, για επισκευή ή αντικατάσταση. Οι αφαιρετές έδρες των βαλβίδων στα πώματα των τετραχρόνων μηχανών κατασκευάζονται συνήθως από κράματα χάλυβα με κατεργασία σκληρύνσεως ή από κράματα κοβαλτίου (στελλίτες).

Τα πώματα των ταχυστρόφων μηχανών κατασκευάζονται μονοκόμματα. Των αργοστρόφων και μεσοστρόφων μηχανών έχουν μορφή κυλινδρική (σχ. 5.4γ και 5.4δ), ενώ στις μεσόστροφες μηχανές η μορφή μπορεί να είναι και ορθογώνια.

Η παροχή του ψυκτικού στο πώμα γίνεται με εξωτερικό σωλήνα από τον περιχιτώνιο χώρο ή απ' ευθείας διαμέσου οχετών με ελαστικούς δακτυλίους στεγανότητας.

Σε μικρές μηχανές η σύσφιγξη του πώματος γίνεται με δυναμόκλειδα (ροπόκλειδα) σε συγκεκριμένες ροπές συσφίγξεως και με δεδομένη σειρά συσφίγξεως, που ορίζει ο κατασκευαστής. Στις μεγάλες μηχανές η σύσφιγξη και η χαλάρωση των κοχλιών γίνεται με ειδικές υδραυλικές συσκευές ή με ειδικά αερόκλειδα και με σειρά που ορίζεται από τον κατασκευαστή (συνήθως αντιδιαμετρική επαναλαμβανόμενη σύσφιγξη).



Σχ. 5.4γ.
Κεφαλή αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής με βαλβίδα εξαγωγής, η οποία διακρίνεται στο κέντρο.

5.4.3 Καταπόνηση πωμάτων.

Οι καταπονήσεις των πωμάτων οφείλονται στις υψηλές πιέσεις στο εσωτερικό του κυλίνδρου, στις θερμοκρασιακές τάσεις λόγω των υψηλών και ανομοιομόρφων θερμοκρασιών, καθώς και στις τάσεις συσφίγξεως.

α) Πιέσεις.

Κατά το χρόνο της συμπιέσεως, οι πιέσεις που αναπτύσσονται στο θάλαμο καύσεως φτάνουν στα 7 bar για τις μικρές μηχανές, ενώ ξεπερνούν τα 150 bar στις μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος.

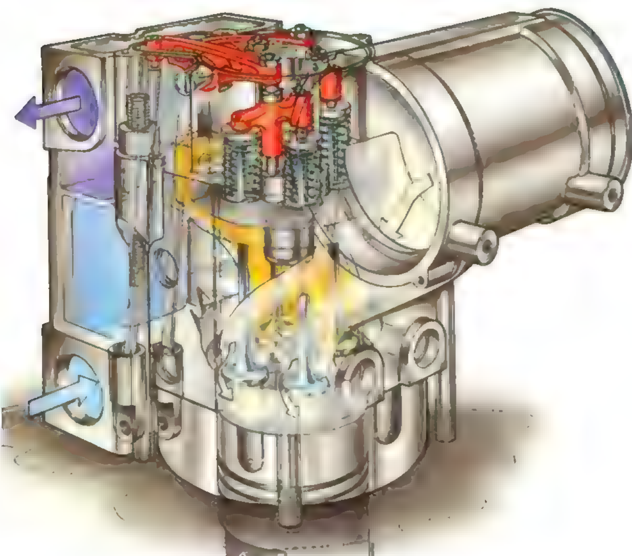
Στις μεσόστροφες και αργόστροφες πετρελαιομηχανές μπορούν να φτάσουν τα 200 bar κατά της εγχύσεως και της καύσεως.

Στις μηχανές μικρής ισχύος με ενιαίο πώμα, οι διαφορετικές μέγιστες πιέσεις, που πιθανώς επικρατούν σε διαφορετικούς κυλίνδρους της μηχανής, δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα στην καταπόνηση της κεφαλής των κυλίνδρων, ενώ αυξάνουν ανομοιόμορφα τη φθορά της μηχανής.

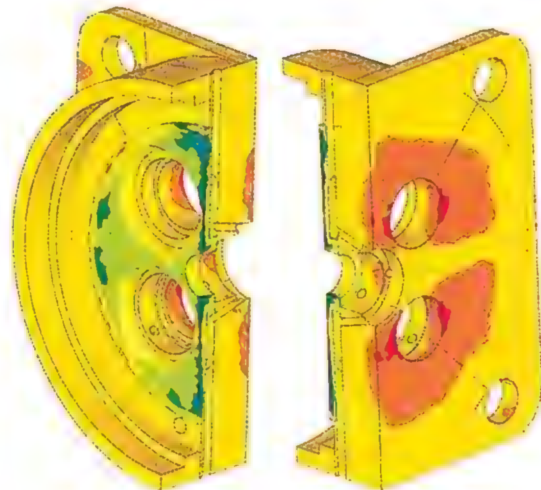
β) Οι θερμοκρασιακές τάσεις.

Οι θερμοκρασιακές τάσεις προκαλούνται από το ανομοιόμορφο πεδίο θερμοκρασιών, που αναπτύσσεται στο πώμα. Το πεδίο αυτό μεταβάλλεται με το χρόνο, ακολουθώντας τις φάσεις λειτουργίας και τη μεταβολή του φορτίου. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο εσωτερικό του κυλίνδρου αναπτύσσονται κατά τη φάση της καύσεως και εκτονώσεως των καυσαερίων (υπερβαίνουν τους 2000 ^{o}C). Οι θερμοκρασίες είναι πολύ μικρότερες (της τάξεως των 300^{o} C) στην κάτω επιφάνεια του πώματος. Αυτό οφείλεται στην ψύξη του πώματος, αλλά και στην εναλλαγή των φάσεων στο εσωτερικό του κυλίνδρου (η εισαγωγή ψυχρού αέρα ψύχει τα τμήματα, με τα οποία έρχεται σε επαφή). Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της κάτω επιφάνειας του πώματος, των οχετών εισαγωγής και εξαγωγής και του ψυχόμενου εσωτερικού του, δημιουργεί συνθήκες εμφανίσεως θερμικών τάσεων. Το ψυχόμενο τμήμα διαστέλλεται λιγότερο από τη θερμή επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια, οπότε εμφανίζονται αντίστοιχα, εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις. Η διανομή τους είναι εξαιρετικά ανομοιόμορφη, λόγω της πολυπλοκότητας του σχήματος, ενώ ο υπολογισμός τους γίνεται με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (σχ. 5.4ε).

Η μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ διαφορετικών ορίων, ανάλογα με το φορτίο της μηχανής, δημιουργεί συνθήκες καταπονήσεως από κόπωση. Ο κίνδυνος κοπώσεως αυξάνεται όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε ταχέως μεταβαλλόμενα φορτία. Έτσι, μια μηχανή, η οποία λειτουργεί συνεχώς στο μέγιστο φορτίο (στην κλίνη δοκιμών), εμφανίζει πολύ μεγα-



Σχ. 5.4δ.
Κεφαλή τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής. Διακρίνεται η ροή του αέρα εισαγωγής, οι οχετοί εξαγωγής (με κίτρινο χρώμα) και η πορεία του ψυκτικού.



Σχ. 5.4ε.
Θεωρητικός υπολογισμός των τάσεων σε τμήμα της κεφαλής του κυλίνδρου. Πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (παρουσιάζεται το μισό της κεφαλής, όπως φαίνεται από τις δύο πλευρές του – αριστερά, η πλευρά του θαλάμου καύσεως).

λύτερη διάρκεια ζωής από την αντίστοιχη που λειτουργεί σε πραγματικές συνθήκες με μεταβαλλόμενα φορτία.

Μια βλάβη στο σύστημα ψύξεως ή μια αλλαγή στο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λόγω επικαθήσεων ή οξειδώσεως) αυξάνει τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, αυξάνοντας έτσι και το εύρος μεταβολής τους, και συνεπώς τον κίνδυνο κοπώσεως.

Για την αντιμετώπιση των θερμικών τάσεων εφαρμόζεται η κατασκευή πωμάτων τύπου φλογόπλακας. Η φλογόπλακα είναι ένα σχετικά λεπτό τοίχωμα μεταξύ θαλάμου καύσεως και ψυκτικών θαλάμων, το οποίο ψύχεται ικανοποιητικά μειώνοντας τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ψυχρού και θερμού τμήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο, μειώνονται οι θερμικές τάσεις. Οι τάσεις από την πίεση των καυσαερίων παραλαμβάνονται από ισχυρό τμήμα (strong-backed construction), πάνω από τους υδροθαλάμους.

γ) Οι τάσεις συσφίγξεως των κοχλιών της κεφαλής.

Εάν η ροπή συσφίγξεως είναι μεγαλύτερη από αυτή που ορίζει ο κατασκευαστής, τότε το πώμα καταπονείται ανομοιόμορφα, με αποτέλεσμα να υπάρχει ο κίνδυνος παραμορφώσεως και φθορών. Οι κοχλίες της κεφαλής των κυλίνδρων πρέπει να σφίγγονται με καθορισμένη σειρά συσφίγξεως, και με την ροπή που ορίζει ο κατασκευαστής.

Στις μηχανές μικρής ισχύος, οι κοχλίες σφίγγονται κατά κανόνα με σειρά από το μέσον προς τα άκρα και με δύο τρόπους, χιαστί ή κυκλικά. Η σύσφιγξη πραγματοποιείται αρχικά σε τρία στάδια με τη μηχανή κρύα, με σταδιακά αυξανόμενη τη ροπή συσφίγξεως και σε ένα τέταρτο τελικό στάδιο, όταν η μηχανή έχει αποκτήσει τη θερμοκρασία λειτουργίας της.

Στο τέταρτο στάδιο συσφίγξεως, εάν το προδιαγράφει ο κατασκευαστής, αφού η μηχανή έχει αποκτήσει τη θερμοκρασία λειτουργίας της, χαλαρώνονται λίγο οι κοχλίες. Στη συνέχεια, επανασυσφίγγονται με τη μέγιστη ροπή, για να μην μένουν κενά στους αρμούς. Τα κενά αυτά μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στεγανότητας και καταπονήσεως των κοχλιών, από απώλεια συσφίγξεως.

Στις μεγάλες μηχανές η σύσφιγξη των κοχλιών κεφαλής γίνεται με ειδικές υδραυλικές συσκευές σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

5.4.4 Βλάβες πωμάτων.

Οι βασικότερες βλάβες που παρατηρούνται στα πώματα των ναυτικών πετρελαιομηχανών, είναι οι ακόλουθες:

α) Θραύσεις – Ρωγμές.

Οι θραύσεις των πωμάτων οφείλονται σε δύο κυρίως λόγους, τις θερμικές τάσεις λόγω υψηλής θερμοκρασίας και την κόπωση του μετάλλου από τη δυναμική καταπόνηση του πώματος. Συνήθως οι αστοχίες συμβαίνουν από το συνδυασμό των παραπάνω. Αναλυτικότερα, οι θραύσεις μπορεί να οφείλονται στα εξής:

- Στην κυκλική μεταβολή της θερμοκρασίας στο πώμα, λόγω του θερμικού κύκλου της μηχανής. Η κυκλική μεταβολή των αναπτυσσομένων θερμικών τάσεων, σε συνδυασμό με τις τάσεις από τη δράση των αερίων, δημιουργούν συνθήκες κοπώσεως στο μέταλλο του πώματος.
- Στις θερμικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά τη χύτευση του μετάλλου ή από τη σύσφιγξη των κοχλιών με μεγαλύτερη ροπή της επιτρεπόμενης ή από υπερβολική σύσφιγξη των στρεβλωμένων πωμάτων.
- Από ξαφνική διακοπή και αποκατάσταση της λειτουργίας του συστήματος ψύξεως, λόγω των πολύ ισχυρών θερμικών τάσεων που αναπτύσσονται με την απότομη ψύξη.
- Από κακή απαγωγή της θερμότητας, λόγω επικαθίσεως αλάτων στους υδροθαλάμους (σχηματισμός λεβητόλιθου - πουρί) ή από την εσωτερική οξείδωση των αγωγών. Με το σχηματισμό του εσωτερικού αυτού στρώματος μειώνεται σταδιακά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση των εμφανιζομένων θερμοκρασιών.
- Από κάψιμο της επιφάνειας του πώματος λόγω επαφής της με τη φλεγόμενη δέσμη εγχυόμενου καυσίμου.

Μετά τη δημιουργία μιας αρχικής ρωγμής, αυτή λόγω της δυναμικής φορτίσεως του πώματος διευρύνεται, μέχρι που ενώνει τους υδροθαλάμους ή τους αγωγούς του λιπαντικού με την κάτω επιφάνεια του πώματος. Συνεπώς, δημιουργείται δίοδος μεταξύ των υδροθαλάμων και του θαλάμου καύσεως, οπότε θερμά αέρια εισέρχονται στο κύκλωμα ψύξως κατά τη λειτουργία της μηχανής, ή αντίστοιχα, στο κύκλωμα λιπάνσεως (με αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως). Αντιθέτως, όταν η μηχανή δεν βρίσκεται σε λειτουργία, νερό ψύξεως και λάδια μπορεί να εισχωρήσουν στον κύ-

λινδρο. Σε περίπτωση μεγάλων διαρροών υπάρχει σοβαρός κίνδυνος κατά την εκκίνηση της μηχανής, λόγω του γεγονότος ότι τα υγρά είναι ασυμπίεστα. Επειδή δεν προλαβαίνουν να εξέλθουν έγκαιρα από τη βαλβίδα ασφαλείας του κυλίνδρου, το έμβολο κατά την άνοδό του κτυπά σε έναν όγκο πρακτικά ασυμπίεστου υγρού. Στις περιπτώσεις αργοστρόφων πετρελαιομηχανών, υπάρχει ο κίνδυνος ολισθήσεως των κομβίων του στροφαλοφόρου άξονα και αλλαγής της γωνίας σφηνώσεως.

Οι εξωτερικές ρωγμές εμφανίζονται συνήθως στην κάτω επιφάνεια του πώματος μεταξύ των βαλβίδων εξαγωγής ή μεταξύ των βαλβίδων και του εγχυτήρα. Για την αποκατάσταση των ρωγμών, πρέπει να γίνει πρώτα ο εντοπισμός τους οπτικά ή με τη μέθοδο ρινισμάτων σιδήρου (μαγνητική - magnaflux) ή με άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους. Στη συνέχεια γίνεται συγκόλληση των ρωγμών ή αντικατάσταση του πώματος, εάν αυτές δεν επισκευάζονται.

β) Διαβρώσεις.

Η διάβρωση των πωμάτων οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, οι βασικότεροι των οποίων είναι οι εξής:

– Επικαθίσεις αλάτων στους αγωγούς ψύξεως. Τα άλατα δημιουργούν εσωτερικά ένα στρώμα λεβητόλιθου (πουρί) με αποτέλεσμα, λόγω της διαταραχής της ροής, να διαβρώνονται εσωτερικά οι αγωγοί του νερού ψύξεως (νεροφάγωμα).
– Δημιουργία εσωτερικού στρώματος σκουριάς στους αγωγούς ψύξεως από την οξείδωση του σιδήρου. Για την αποφυγή της απαιτείται η προσθήκη στο νερό ειδικών αντιοξειδωτικών προσθέτων.
– Το θείο που περιέχεται στο πετρέλαιο, διαβρώνει και αυτό τα πώματα των κυλίνδρων στην επιφάνεια του θαλάμου καύσεως και στο εσωτερικό του αγωγού εξαγωγής.

Οι επικαθήσεις στους αγωγούς ψύξεως μειώνουν το ρυθμό μεταδόσεως της θερμότητας, και αυξάνουν τη θερμική καταπόνηση του πώματος, λόγω της τοπικής αυξήσεως της θερμοκρασίας.

Το νερό ψύξεως στα πλοία προέρχεται από συσκευές αφαλατώσεως. Στη συνέχεια ακολουθεί προσθήκη αντιοξειδωτικών, για να μειωθεί ο κίνδυνος οξειδώσεως στα μέταλλα, με τα οποία έρχεται σε επαφή.

γ) Στρεβλώσεις του πώματος.

Η κεφαλή (πώμα) των κυλίνδρων, μπορεί να υποσθεί στρέβλωση, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται διαρροές, σε αέρα, καύσιμο μείγμα και καυσαέρια. Επίσης παρατηρούνται διαρροές σε λιπαντικό και ψυκτικό μέσο, και προς το χώρο καύσεως και προς την εξωτερική πλευρά της μηχανής.

Η στρέβλωση του πώματος έχει τα εξής αποτελέσματα:

– Να υπάρχει χαμηλή συμπίεση στο χώρο καύσεως, επομένως και μειωμένη απόδοση.
– Να καίγονται τα λάδια που εισέρχονται στον χώρο καύσεως με αποτέλεσμα την αύξηση της ρυπάνσεως.
– Να παρατηρείται υπερθέρμανση, λόγω εισροής καυσαερίων στο κύκλωμα ψύξεως και λιπάνσεως, από τη στρεβλωμένη κεφαλή. Η υπερθέρμανση αυτή μπορεί να επιτείνει το πρόβλημα της στρεβλώσεως, ενώ αυξάνει την πιθανότητα εμφανίσεως ρωγμών.

Η στρέβλωση της κεφαλής μπορεί να προκληθεί:

– Εάν αφαιρεθεί η κεφαλή των κυλίνδρων, όταν αυτή είναι ακόμη ζεστή.
– Εάν υπάρχει πρόβλημα στο σύστημα ψύξεως στην περιοχή του πώματος.
– Εάν γίνει σύσφιγξη των κοχλιών της κεφαλής με ροπή μικρότερη ή μεγαλύτερη από αυτή που ορίζει ο κατασκευαστής.
– Εάν γίνει σύσφιγξη των κοχλιών με διαφορετική από την προβλεπόμενη σειρά ή με ανομοιόμορφη ροπή.

5.5 Βαλβίδες – Μηχανισμοί κινήσεως.

5.5.1 Βαλβίδα εξαγωγής αργοστρόφων πετρελαιομηχανών.

Η βαλβίδα εξαγωγής στις δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές είναι το τμήμα της μηχανής, το οποίο αποκτά την υψηλότερη θερμοκρασία. Κατά το άνοιγμα της βαλβίδας, στη στενή δίοδο μεταξύ της κεφαλής και της έδρας της βαλβίδας, λόγω της μεγάλης διαφοράς πιέσεως που επικρατεί, τα θερμά καυσαέρια εξέρχονται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του ήχου. Εξαιτίας της πολύ υψηλής ταχύτητας, αυξάνεται σημαντικά ο ρυθμός μεταδόσεως της θερμότητας από τα καυσαέρια προς τη βαλβίδα και προς την έδρα της (μετάδοση θερμότητας κυρίως με συναγωγή). Η υψηλή θερμοροή δεν μπορεί να αντισταθμιστεί άμεσα και τοπικά από τα συστήματα ψύ-

ξεως, οπότε η θερμοκρασία της βαλβίδας ανεβαίνει σημαντικά, ειδικά στην κεφαλή της (μανιτάρι).

α) Υλικά κατασκευής.

Παλαιότερα, οι βαλβίδες κατασκευάζονταν από ωστενιτικό χάλυβα. Λόγω των πολύ υψηλών θερμικών φορτίων και των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, οι βαλβίδες κατασκευάζονται πλέον με τη χρήση κραμάτων νικελίου ή κοβαλτίου (superalloys), όπως το nimonic (οικογένεια κραμάτων νικελίου με περιεκτικότητα σε νικέλιο μέχρι 75%, χρώμιο μέχρι 20%, καθώς και κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, τιτάνιο, αλουμίνιο, σίδηρο και τέλος άνθρακα σε πολύ μικρή αναλογία) και οι στελλίτες (κράματα κοβαλτίου και χρωμίου με προσθήκη βολφραμίου, μολυβδαινίου και άνθρακα). Τα κράματα του νικελίου και του κοβαλτίου έχουν υψηλό σημείο τήξεως, ενώ διατηρούν την αντοχή και τη σκληρότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι βαλβίδες κατασκευάζονται είτε ολόσωμες από τα εν λόγω κράματα είτε σε δύο τμήματα, με την κεφαλή τους από κράμα νικελίου και το στέλεχος με την ουρά από χάλυβα υψηλής αντοχής. Συνήθως το στέλεχος είναι επιχρωμιωμένο για να μειώνεται η φθορά από την τριβή του με τον οδηγό της βαλβίδας.

Για να προστατεύεται η κεφαλή της βαλβίδας από τη διάβρωση, που δημιουργεί η χρήση βαρέων πετρελαίων και η εγγύτητά της με τις δέσμες του καυσίμου, δοκιμάζονται επικαλύψεις με ειδικά κράματα νικελίου, τα οποία μειώνουν σε υψηλές θερμικές καταπονήσεις τη φθορά της βαλβίδας.

Τα υλικά κατασκευής των βαλβίδων, επειδή απαιτείται αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, με παράλληλη διατήρηση της σκληρότητας, είναι ιδιαίτερα ψαθυρά. Έτσι στην περίπτωση κακής εδράσεως της βαλβίδας υπάρχει αυξημένος κίνδυνος θραύσεώς της. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις των θερμικών παραμορφώσεων στις έδρες, της ανομοιόμορφης φθοράς των εδρών και των βαλβίδων και στην περίπτωση της ανομοιόμορφης συσσωρεύσεως επικαθήσεων. Κατά το κλείσιμο της βαλβίδας, για να μην υπάρξει κρουστική επαφή με την έδρα της, χρησιμοποιούνται στην ουρά της βαλβίδας (στα υδραυλικά συστήματα κινήσεως) ειδικοί αποσβεστήρες λαδιού.

Οι οδηγοί των βαλβίδων κατασκευάζονται συνήθως από λεπτόκοκκο φαιό χυτοσίδηρο (λόγω των καλών αντιτριβικών ιδιοτήτων του), ενώ τοποθετούνται με σφιχτή συναρμογή στην οπή τους στο πώμα του κυλίνδρου.

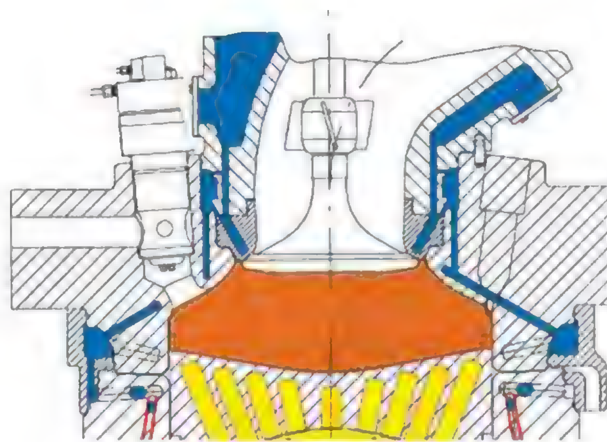
Οι έδρες των βαλβίδων κατασκευάζονται συνήθως από κραματωμένο χάλυβα με επιφανειακή σκλήρυνση, ενώ τοποθετούνται στις υποδοχές τους με σφιχτή συναρμογή (εφαρμόζεται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της έδρας και του πώματος για την τοποθέτησή τους). Ψύχονται από το εσωτερικό του πώματος με τη χρήση οπών ψύξεως (bore cooling) ή με τη δημιουργία θαλάμων ψυκτικού στην επιφάνεια επαφής τους με το πώμα (σχ. 5.5α).

β) Θερμική καταπόνηση και ψύξη της βαλβίδας.

Η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται στην κεφαλή της βαλβίδας από την πλευρά του θαλάμου καύσεως και ειδικότερα, στο κέντρο της, όπως είναι φυσικό. Η θερμοκρασία στο κέντρο της κεφαλής διατηρείται, σε πλήρες φορτίο της μηχανής, συνήθως λίγο κάτω από τους 600° C ενώ οι παρειές της κεφαλής έχουν θερμοκρασία 40 με 50 βαθμούς μικρότερη (σχ. 5.5β). Η θερμοκρασία της βαλβίδας στην περιοχή της επαφής της με την έδρα πρέπει να διατηρείται κάτω από τους 500° C για λόγους που θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

Η ψύξη της βαλβίδας πραγματοποιείται με τη ροή του ψυχρού αέρα κατά τη φάση της σαρώσεως (με συναγωγή), με αγωγή θερμότητας μέσω του στελέχους της προς τον οδηγό και στη συνέχεια προς το ψυχόμενο πώμα, αλλά κυρίως με αγωγή προς την έδρα της, όταν βρίσκεται σε επαφή μαζί της.

Η έδρα της βαλβίδας ψύχεται με την παροχή ψυκτικού κοντά ή μέσα σε αυτήν, με τη δημιουργία οπών ψύξεως (bore cooling). Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ομοιόμορφη περιφερειακά θερμοκρασία της έδρας, οπότε προκύπτει ομοιόμορφη πε-

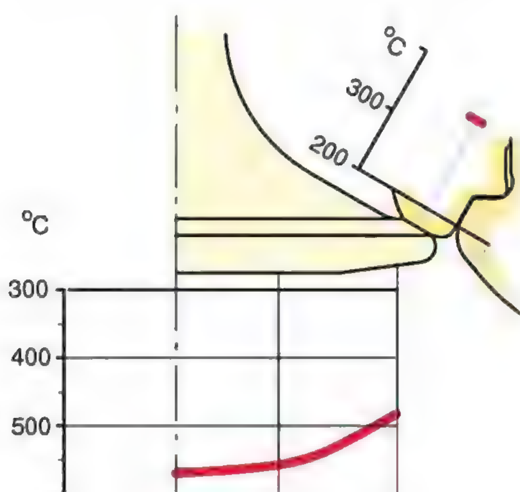


Σχ. 5.5α.
Σύστημα ψύξεως με αγωγούς (bore cooling) της έδρας της βαλβίδας σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή.

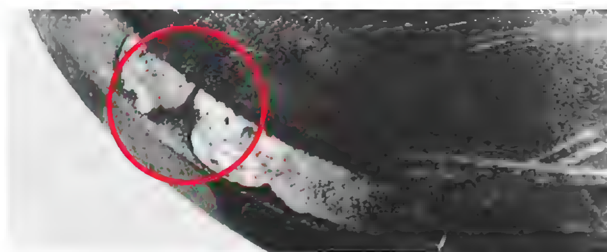
ριφερειακά ψύξη της κεφαλής της βαλβίδας. Η μέγιστη θερμοκρασία της έδρας είναι της τάξεως των 300° C - 350° C (σχ. 5.5β).

Επειδή η ψύξη της βαλβίδας γίνεται κυρίως με αγωγή θερμότητας προς την έδρα της, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διατηρείται η πολύ καλή επαφή μεταξύ τους, κατά το κλείσιμο της βαλβίδας. Η μη ικανοποιητική επαφή μπορεί να οφείλεται σε ανομοιόμορφη ψύξη της έδρας, η οποία οδηγεί σε τοπική της παραμόρφωση. Έτσι, χάνεται η στεγανότητα μεταξύ της βαλβίδας και της έδρας, οπότε διαφεύγουν τοπικά θερμά καυσαέρια. Η διαρροή των θερμών καυσαερίων δημιουργεί τοπικά πολύ υψηλούς ρυθμούς μεταδόσεως θερμότητας προς την έδρα και τη βαλβίδα. Οι ρυθμοί αυτοί επιτείνουν την παραμόρφωση και οδηγούν στο κάψιμο του υλικού της έδρας και της βαλβίδας. Με την ψύξη των εδρών μέσω οπών, μειώνεται ο παραπάνω κίνδυνος, λόγω του ομοιόμορφου θερμοκρασιακού πεδίου που επιτυγχάνεται.

Η δεύτερη αιτία κακής επαφής βαλβίδας και έδρας συνδέεται με τη χρήση βαρέων πετρελαίων ως καυσίμων. Τα βαρέα πετρέλαια περιέχουν βανάδιο και νάτριο, τα οποία κατά την καύση οξειδώνονται σχηματίζοντας, V_2O_5 και Na_2SO_4. Στη συνέχεια, αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας σε θερμοκρασίες ανώτερες των 550° C, ευτηκτικά άλατα. Οι ενώσεις των οξειδίων αυτών έχουν σημείο τήξεως λίγο πάνω από τους 600° C. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή σχηματίζουν υαλώδη στρώματα στην επιφάνεια επαφής βαλβίδας και έδρας, αντιδρούν με τα μέταλλα της βαλβίδας και της έδρας και τα διαβρώνουν (θερμή διάβρωση). Κατά τη φάση της σαρώσεως, μειώνεται η θερμοκρασία τους, οπότε στερεοποιούνται, σχηματίζοντας ψαθυρά στρώματα. Με το κλείσιμο της βαλβίδας ή κατά το άνοιγμά της, τμήματα αυτών των στρωμάτων θρυμματίζονται ή λιώνουν τοπικά, οπότε εμποδίζεται το στεγανό κλείσιμο της βαλβίδας (σχ. 5.5γ). Έτσι, εμφανίζονται τοπικές διαρροές καυσαερίων, που διευρύνουν τις διόδους και οδηγούν αρχικά σε τοπική παραμόρφωση και δημιουργία ρωγμών (σχ. 5.5δ). Στη συνέχεια, προκαλούν το κάψιμο και την καταστροφή της βαλβίδας (σχ. 5.5ε). Ως επακόλουθο των διαρροών μειώνεται η συμπίεση του κυλίνδρου και πέφτει η απόδοση του κινητήρα. Η θερμοκρασία στην κεφαλή της βαλβίδας



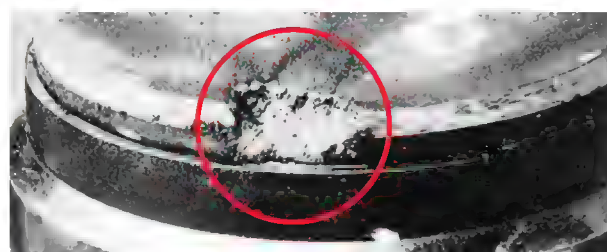
Σχ. 5.5β.
Θερμοκρασιακό πεδίο στην επιφάνεια βαλβίδας εξαγωγής και έδρας, σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή, υπό πλήρες φορτίο.



Σχ. 5.5γ.
Φωτογραφία βαλβίδας εξαγωγής μετά από λειτουργία με βαρύ πετρέλαιο. Διακρίνεται το στρώμα των υαλωδών επικαθήσεων (λόγω της παρουσίας βαναδίου και νατρίου), καθώς και τα στενά κανάλια που σχηματίζονται από την απόσπαση μέρους των επικαθήσεων.



Σχ. 5.5δ.
Ρωγμές στην επιφάνεια της βαλβίδας λόγω τοπικής διαρροής καυσαερίου μέσα από κανάλι. Το κανάλι σχηματίσθηκε από την αποκόλληση των επικαθήσεων που διακρίνονται στο σχήμα 5.5γ.



Σχ. 5.5ε.
Εξέλιξη των ρωγμών της βαλβίδας του σχήματος 5.5δ και ολική καταστροφή του υλικού, από την τοπική διαρροή των καυσαερίων.

δεν πρέπει να πέσει κάτω από 350° C, διότι ευνοείται η εναπόθεση των παραπάνω οξειδίων, που οδηγούν σε θερμή διάβρωση.

Το παραπάνω πρόβλημα αποφεύγεται με συνδυασμό μεθόδων. Η πολύ καλή και ομοιόμορφη ψύξη της έδρας της βαλβίδας συνδυάζεται με αυξημένες ποσότητες αέρα σαρώσεως, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ψύξη της βαλβίδας και να πέφτει η θερμοκρασία της κάτω από τη θερμοκρασία τήξεως των οξειδίων του βαναδίου και του νατρίου. Επίσης πρέπει να δίδεται προσοχή κατά τη σχεδίαση του κινητήρα στη σχηματιζόμενη ροή των καυσαερίων κατά το άνοιγμα της βαλβίδας. Στην περίπτωση που εμφανίζονται υψηλές ταχύτητες στη ροή των καυσαερίων, αυξάνεται ο ρυθμός μεταδόσεως θερμότητας από τα καυσαέρια προς τη βαλβίδα και την έδρα της, αυξάνοντας τοπικά τις θερμοκρασίες.

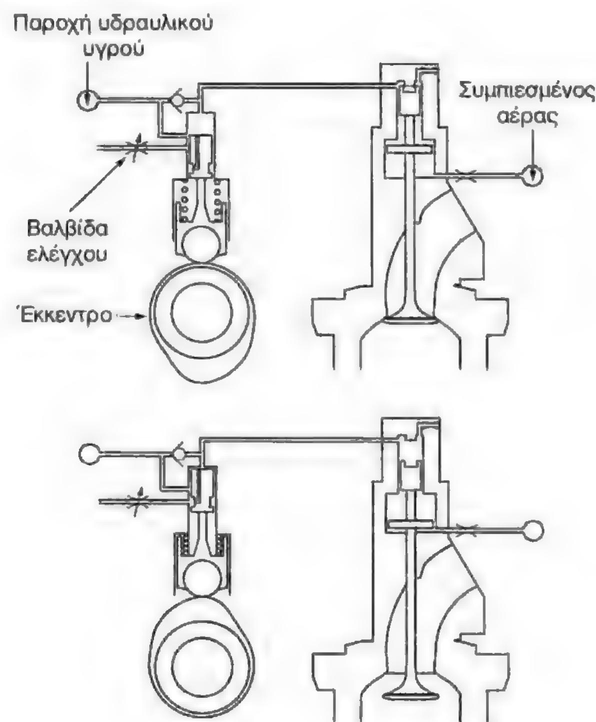
Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται η τεχνική της περιστροφής της βαλβίδας. Η βαλβίδα είναι εφοδιασμένη με πτερύγια στο στέλεχός της (σχ. 5.5α). Με τη ροή των καυσαερίων μέσα από τα πτερύγια, αναγκάζεται η βαλβίδα να περιστρέφεται, οπότε κατά την επαφή της με την έδρα περιστρεφόμενη αποκολλά τις επικαθίσεις και φροντίζει για τη δημιουργία ομοιόμορφης φθοράς και ομαλής επιφάνειας επαφής μεταξύ έδρας και βαλβίδας, βελτιώνοντας έτσι τη στεγανότητα. Επιπρόσθετα, η περιστροφή της βαλβίδας επιτυγχάνει ομοιόμορφο θερμοκρασιακό πεδίο στην κεφαλή της βαλβίδας, μειώνοντας τις παραμορφώσεις.

Για να είναι δυνατή η εύκολη περιστροφή της βαλβίδας δεν χρησιμοποιούνται κλασικά μεταλλικά ελατήρια αλλά ελατήρια πεπιεσμένου αέρα, που μειώνουν σημαντικά τις τριβές, επιτρέποντας την ελεύθερη περιστροφή της.

γ) Υδραυλικά συστήματα κινήσεως βαλβίδων.

Στις αργόστροφες μηχανές χρησιμοποιούνται πλέον υδραυλικά συστήματα κινήσεως των βαλβίδων. Στα συστήματα αυτά ο εκκεντροφόρος άξονας δίνει κίνηση σε υδραυλικό έμβολο, μέσω τροχίσκου. Η δύναμη του εμβόλου μεταβιβάζεται ως υδροστατική πίεση σε όλο τον όγκο του υδραυλικού υγρού που περιέχεται εντός του υδραυλικού κυκλώματος. Στην άλλη άκρη του κυκλώματος υπάρχει δεύτερο έμβολο, το οποίο συνδέεται με την ουρά της βαλβίδας. Η αύξηση της υδροστατικής πιέσεως από τη μετακίνηση του πρώτου εμβόλου μετακινεί το έμβολο της βαλβίδας, προκαλώντας τη βύθισή της (σχ. 5.5στ). Η βαλβίδα επιστρέφει στην κλειστή θέση, όταν λήξει η επίδραση του εκκέντρου στο αντίστοιχο έμβολο μέσω επανατατικών ελατηρίων, τα οποία συνδέονται με το έμβολο του εκκεντροφόρου και το έμβολο της βαλβίδας. Τα ελατήρια ωθούν τα αντίστοιχα έμβολα προς την αρχική τους θέση, με αποτέλεσμα η βαλβίδα να εφαρμόσει στεγανά στην έδρα της. Η επαναφορά της βαλβίδας σε κλειστή θέση μπορεί να γίνεται και με τη βοήθεια αέρα υψηλής πιέσεως (ελατήριο αέρα). Ο αέρας διοχετεύεται στο κάτω μέρος του αντίστοιχου εμβόλου. Το ελατήριο αέρα χρησιμοποιείται για τη μείωση της τριβής, στην περίπτωση που η βαλβίδα είναι περιστρεφόμενη.

Ο υδραυλικός μηχανισμός μειώνει σημαντικά τον όγκο και το βάρος του συστήματος κινήσεως των βαλβίδων, μειώνοντας αντίστοιχα και το μέγεθος του πώματος των κυλίνδρων. Παράλληλα μειώνονται οι κραδασμοί και οι θόρυβοι από τη μετακίνηση των μαζών του μηχανισμού κινήσεως των βαλβίδων, ενώ μειώνεται και η πολυπλοκότητα του συστήματος. Δεν απαιτείται επίσης ρύθμιση διακένων, ενώ διευκολύνεται η ψύξη των βαλβίδων, αφού έρχονται σε επαφή με το υδραυλικό υγρό. Πρέπει όμως ο



Σχ. 5.5στ.
Υδραυλικός μηχανισμός κινήσεως βαλβίδας εξαγωγής σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή. Με το άνοιγμα της βαλβίδας ελέγχου πέφτει η πίεση του υδραυλικού υγρού στο κύκλωμα και κλείνει πρόωρα η βαλβίδα (με την επίδραση της πιέσεως του αέρα στο έμβολο της βαλβίδας).

εκκεντροφόρος να είναι αρκετά κοντά στο πώμα, διότι διαφορετικά, το μεγάλο μήκος των σωληνώσεων θα δημιουργήσει προβλήματα στο χρονισμό των βαλβίδων, λόγω της ελαστικότητας των σωληνώσεων, της (μικρής) συμπιεστότητας του υδραυλικού υγρού και εξαιτίας των διαταραχών της πιέσεως.

Τα υδραυλικά συστήματα κινήσεως των βαλβίδων μπορούν να τροποποιηθούν, για να προσφέρεται η δυνατότητα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων, ανεξάρτητα της (σταθερής) γεωμετρίας του εκκέντρου κινήσεως (σχ. 5.5στ). Σε πλήρες φορτίο το σύστημα λειτουργεί με βάση την επίδραση του εκκέντρου. Σε μερικά φορτία μία ηλεκτρονικά ελεγχόμενη βαλβίδα ανοίγει την κατάλληλη χρονική στιγμή μειώνοντας την πίεση εντός του υδραυλικού κυκλώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η βαλβίδα να κλείνει πιο νωρίς από ό,τι επιβάλλει η γεωμετρία του εκκέντρου. Με τον τρόπο αυτό στις περιπτώσεις χαμηλοτέρων φορτίων αυξάνεται ο λόγος συμπιέσεως (60 έως 80% του μέγιστου), αυξάνοντας την απόδοση του κινητήρα.

δ) Χρόνοι μεταξύ γενικών επισκευών.

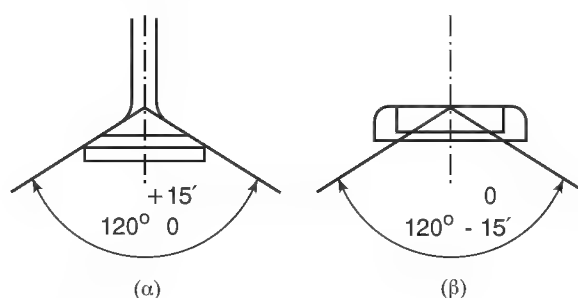
Στις σύγχρονες δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές οι χρόνοι μεταξύ γενικών επιθεωρήσεων και επισκευών των βαλβίδων εξαγωγής και των εδρών τους κυμαίνονται μεταξύ 12.000 και 14.000 ωρών λειτουργίας (πάνω από δύο χρόνια λειτουργίας), αν και έχουν αναφερθεί και χρόνοι λειτουργίας χωρίς ανάγκη επισκευής μεγαλύτεροι των 25.000 ωρών. Οι χρόνοι αυτοί καθορίζονται από τον κατασκευαστή και συνήθως είναι οι ίδιοι για τα κύρια συγκροτήματα της μηχανής, έτσι ώστε να μειώνεται ο χρόνος και το κόστος των επισκευών. Οι χρόνοι μεταξύ των γενικών επιθεωρήσεων και των επισκευών στις παλαιότερες μηχανές είναι σαφώς μικρότεροι, κυμαινόμενοι μεταξύ 2000 και 12.000 ωρών λειτουργίας, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής και πάντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

5.5.2 Βαλβίδες μεσοστρόφων μηχανών.

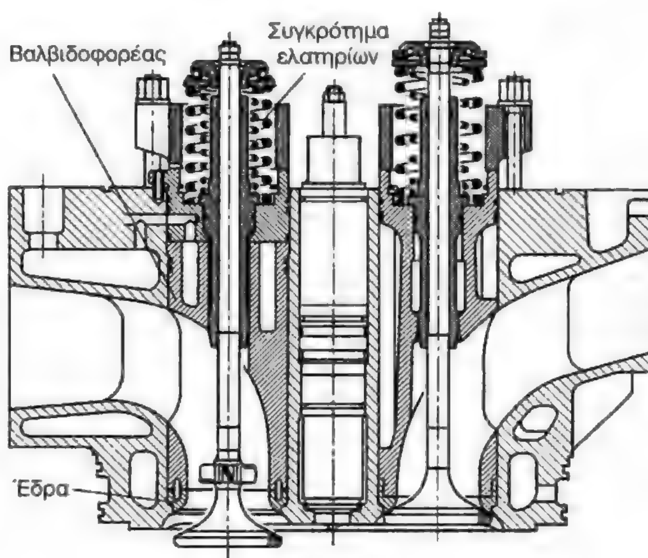
Στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές υπάρχουν συνήθως δύο βαλβίδες εισαγωγής και δύο βαλβίδες εξαγωγής ανά κύλινδρο (αν και συναντώνται μηχανές με μία βαλβίδα εισαγωγής και μία βαλβίδα εξαγωγής). Οι βαλβίδες εξαγωγής έχουν συνήθως μικρότερη διάμετρο κεφαλής (μανιταριού), λόγω των μεγαλυτέρων πιέσεων που επικρατούν κατά το άνοιγμά τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται η απαιτούμενη δύναμη. Το μικρότερο μέγεθος δεν επηρεάζει την έξοδο των καυσαερίων, διότι κατά την εξαγωγή των καυσαερίων, επικρατεί μεγαλύτερη διαφορά πιέσεως από την αντίστοιχη κατά την εισαγωγή του αέρα. Οι βαλβίδες εισαγωγής αντίθετα πρέπει να παρουσιάζουν τη μικρότερη δυνατή αντίσταση στη ροή του αέρα, έτσι ώστε να μην παρεμποδίζεται η πλήρωση του κυλίνδρου κατά τη φάση της εισαγωγής.

Οι έδρες των βαλβίδων έχουν την ίδια γωνία κώνου με αυτή της κεφαλής της βαλβίδας [συνήθως 45^o οι εισαγωγής και 60^o οι εξαγωγής (σχ. 5.5ζ)]. Για λόγους ομαλής ροής, αλλά και για να υπάρχει το σωστό πλάτος στην έδρα, γίνεται μια εξομάλυνση της γωνίας στις 15^o και 75^o εκατέρωθεν της ζώνης επαφής (γωνίες διορθώσεως).

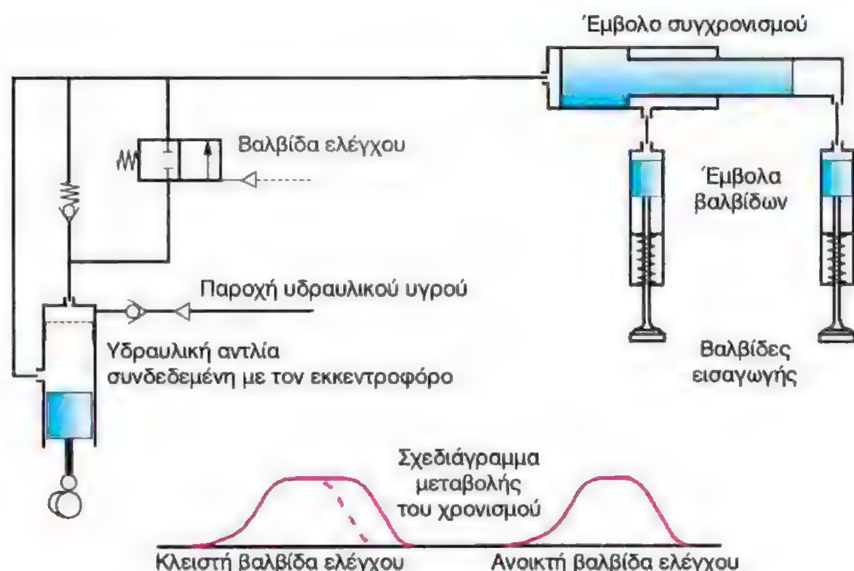
Οι βαλβίδες μπορεί να είναι τοποθετημένες εντός ανεξαρτήτων κλωβών (βαλβιδοφορείς), οι οποίοι περιλαμβάνουν τις έδρες τους και το συγκρότημα των ελατηρίων (σχ. 5.5η). Οι κλωβοί αυτοί αφαιρούνται



Σχ. 5.5ζ.
Γωνίες κωνικότητας βαλβίδας εξαγωγής (α) και της έδρας της (β).



Σχ. 5.5η.
Βαλβίδες τετράχρονης πετρελαιομηχανής τοποθετημένες εντός βαλβιδοφορέων, οι οποίοι αφαιρούνται προς τα πάνω, χωρίς την εξάρμωση του πώματος.



Σχ. 5.5θ.
Υδραυλικός μηχανισμός κινήσεως βαλβίδων εισαγωγής σε τετράχρονη πετρελαιομηχανή, με δυνατότητα μεταβολής του χρονισμού. Διακρίνεται η μεταβολή του χρόνου ανοικτής θέσεως, με ανοικτή και με κλειστή τη βαλβίδα ελέγχου.

ολόκληροι προς τα πάνω για συντήρηση ή αντικατάσταση, χωρίς να απαιτείται η αφαίρεση του πώματος.

Η μετάδοση της κινήσεως από τον εκκεντροφόρο άξονα προς τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής γίνεται με τη χρήση ωστηρίων, ζυγώθρων και ελατηρίων για την επαναφορά των βαλβίδων στην κλειστή θέση. Υπάρχουν όμως μεσόστροφες μηχανές, στις οποίες έχει εφαρμοσθεί υδραυλικό σύστημα κινήσεως των βαλβίδων εισαγωγής, αντίστοιχο με εκείνο των αργοστρόφων μηχανών (σχ. 5.5θ). Το σύστημα έχει τη δυνατότητα μεταβολής του χρονισμού των βαλβίδων.

α) Υλικά κατασκευής.

Οι βαλβίδες εισαγωγής κατασκευάζονται συνήθως από κραματωμένους χάλυβες υψηλής αντοχής, με στοιχεία κραματώσεως χρώμιο-νικέλιο ή πυρίτιο-χρώμιο (silchrome). Οι βαλβίδες εξαγωγής, επειδή καταπονούνται πολύ περισσότερο (ειδικά κατά την καύση βαρέων πετρελαίων), κατασκευάζονται συνήθως από κράματα νικελίου (superalloys) όπως inconel και nimonic (π.χ. nimonic 80A με σύνθεση 19,5% Cr, 73% Ni, 1% Co, 2,25% Ti, 1,4% Al, 1,5% Fe, 0,05% C και λιγότερο από 0,1% Cu). Μπορεί να εφαρμοσθεί και επιφανειακή επικάλυψη με κεραμικά υλικά για την αύξηση της αντοχής τους στις υψηλές θερμοκρασίες. Για τη μείωση του κινδύνου θερμής διαβρώσεως (από το νάτριο και το βανάδιο των βαρέων πετρελαίων) η θερμοκρασία των σημείων επαφής με την έδρα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα (κάτω των 400° C) με εσωτερική ψύξη των εδρών, περιστροφή της βαλβίδας (σχ. 5.5ι) και αύξηση του χρόνου επικαλύψεως (ταυτόχρονη ανοικτή θέση) των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, ώστε με τη ροή του αέρα εισαγωγής να ψύχονται ικανοποιητικά. Οι βαλβίδες που δεν διαθέτουν μηχανισμό περιστροφής, εμφανίζουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες και ανομοιόμορφη κατανομή τους (σχ. 5.5ια). Οι θερμοκρασίες των βαλβίδων εισαγωγής είναι αρκετά χαμηλότερες, λόγω της ψύξεώς τους από τον αέρα εισαγωγής και της απουσίας ρεύματος καυσαερίων γύρω από αυτές (σχ. 5.5ιβ).

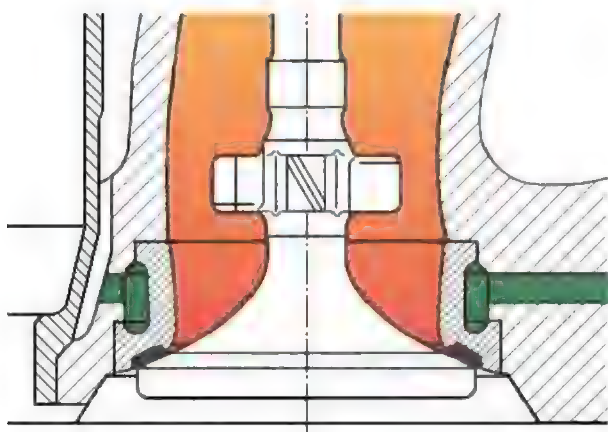
Οι έδρες των βαλβίδων κατασκευάζονται από κραματωμένους χάλυβες με επιφανειακή σκλήρυνση ή από κράματα κοβαλτίου (στελλίτες). Τοποθετούνται στις αντίστοιχες οπές των πωμάτων με σφιχτή συναρμογή, εφαρμόζοντας θερμοκρασιακή διαφορά (ψύξη των εδρών).

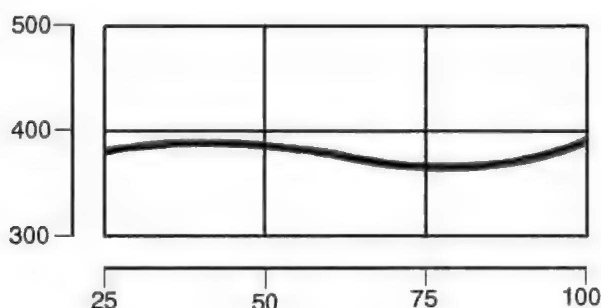
Εκτός από τις έδρες των βαλβίδων εξαγωγής, ψυχόμενες είναι και οι γέφυρες μεταξύ των βαλβίδων εξαγωγής και εισαγωγής. Εκεί υπάρχει μεγάλος κίνδυνος εμφανίσεως ρωγμών, λόγω των ισχυρών θερμικών τάσεων που εμφανίζονται τοπικά εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας και της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας (πολλά σημεία με συγκεντρώσεις τάσεων).

Οι βαλβίδες εξαγωγής φέρουν συνήθως στο στέλεχός τους πτερύγια για την περιστροφή τους κατά την έξοδο των καυσαερίων (σχ. 5.5ι). Με την περιστροφή αποκολλούνται οι επικαθίσεις μεταξύ βαλβίδας και έδρας, βελτιώνεται η στεγανότητα και επιτυγχάνεται ομοιόμορφη διανομή θερμοκρασίας στη βαλβίδα και την έδρα της, καθώς και ομοιόμορφη φθορά τους. Οι βαλβίδες εισαγωγής περιστρέφονται συνήθως με τη χρήση ειδικού μηχανισμού (rotocap) στην ουρά τους, ο οποίος μπορεί να εφαρμοσθεί και στις βαλβίδες εξαγωγής (σχ. 5.5ιγ).

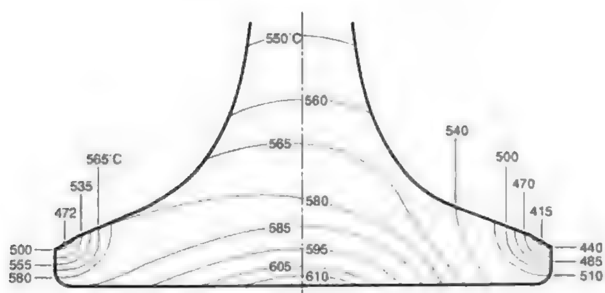
β) Ωστήρια – Ωστικές ράβδοι και ζύγωθρα.

Ο μηχανισμός μεταδόσεως της κινήσεως από τον εκκεντροφόρο άξονα στα πλάγια της μηχανής προς τις βαλβίδες αποτελείται από τα ωστήρια, τις ωστικές ράβδους και τα ζύγωθρα. Το ωστήριο είναι το τμήμα του μηχανισμού κινήσεως που έρχεται σε άμεση επαφή με το έκκεντρο, και μέσω της ωστικής ράβδου μεταδίδει την κίνηση στο ζύγωθρο. Το ζύγωθρο είναι μοχλός, στερεωμένος στον άξονα των ζυ-

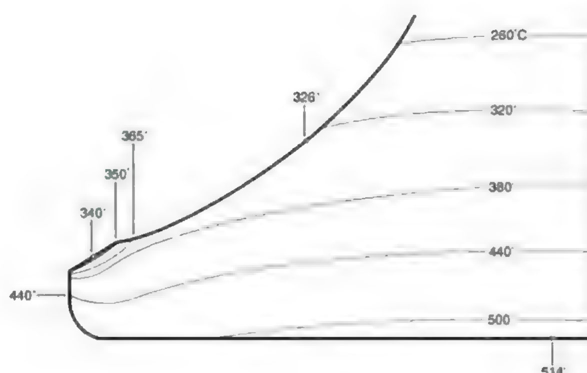




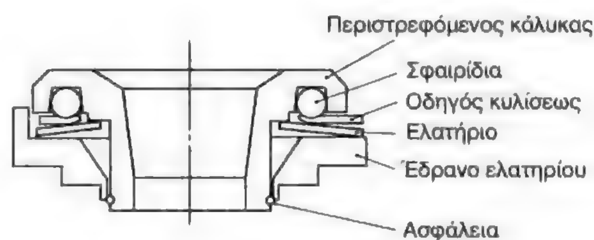
Σχ. 5.5ι.
Η διάταξη ψύξεως της έδρας βαλβίδας εξαγωγής σε τετράχρονη πετρελαιομηχανή, όπου διακρίνονται επίσης και τα πτερύγια περιστροφής της βαλβίδας. Στο σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας σε °C της έδρας της βαλβίδας με το φορτίο της μηχανής.

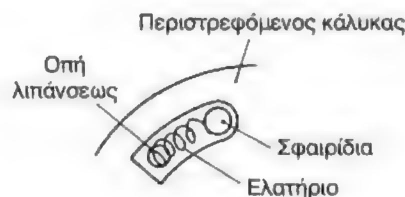


Σχ. 5.5ια.
Ισοθερμοκρασιακές καμπύλες (°C) σε βαλβίδα εξαγωγής, η οποία δεν διαθέτει μηχανισμό περιστροφής.



Σχ. 5.5ιβ.
Ισοθερμοκρασιακές καμπύλες (°C) σε βαλβίδα εισαγωγής. Οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλότερες των αντιστοίχων της βαλβίδας εξαγωγής.





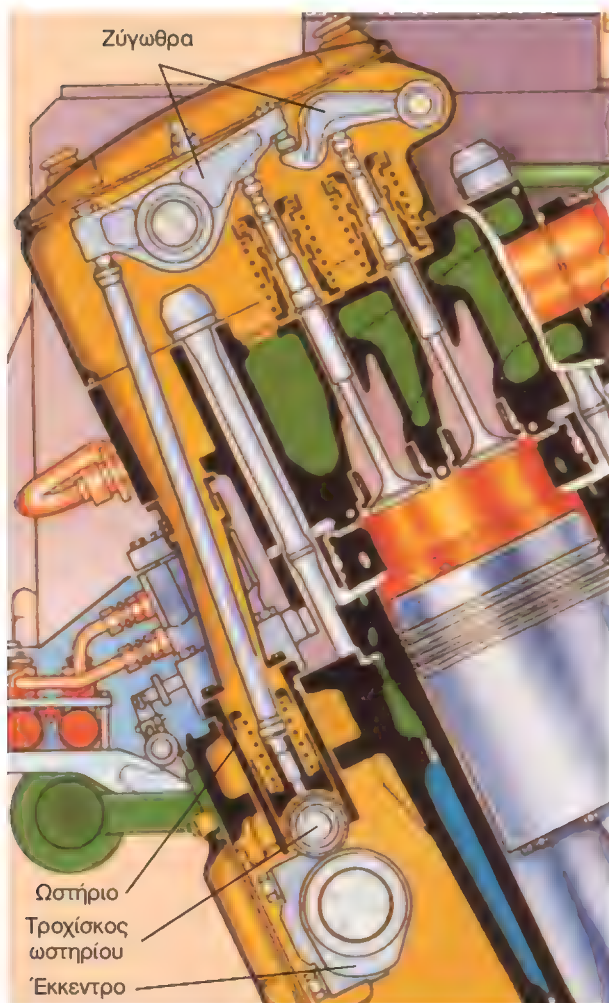
Σχ. 5.5ιγ.
Μηχανισμός περιστροφής της βαλβίδας (rotocap).

γώθρων. Μεταδίδει την κίνηση που δέχεται από την ωστική ράβδο στην ουρά της βαλβίδας, υπερνικώντας την τάση του ελατηρίου (σχ. 2.4γ και 5.5ιδ).

Τα ωστήρια είναι είτε κοίλα κυλινδρικά εξαρτήματα (ποτηράκια), που εφάπτονται στα έκκεντρα του εκκεντροφόρου άξονα (σχ. 5.5ιδ), είτε μοχλός που παίρνει την κίνηση από τον εκκεντροφόρο και τη μεταβιβάζει στην ωστική ράβδο (σχήμα 5.5ιε). Συνήθως φέρουν τροχίσκους, οι οποίοι και έρχονται σε επαφή με τα έκκεντρα, για τη μείωση της τριβής και της φθοράς.

Το υλικό κατασκευής των ωστηρίων (ή των τροχίσκων τους) είναι συνήθως σφυρήλατος κραματωμένος χάλυβας με κατεργασία σκληρύνσεως (βαφή) και λείανση της επιφάνειας επαφής με το έκκεντρο.

Οι ωστικές ράβδοι είναι χαλύβδινες και έχουν



Σχ. 5.5ιδ.
Συγκρότημα εκκεντροφόρου, ωστηρίου, ωστικής ράβδου, ζυγώθρων και βαλβίδων, σε τετράχρονη μεσόστροφη πετρελαιομηχανή τύπου V.

κυλινδρικό σχήμα, με διαμορφωμένα ημισφαιροειδή άκρα. Με το ένα άκρο τους εφάπτονται σε κατάλληλη εσωτερική κοιλότητα του ωστηρίου και με το άλλο σε ειδική κοιλότητα στο ζύγωθρο. Δέχονται τις κινήσεις του ωστηρίου, και τις μεταβιβάζουν στο ζύγωθρο, ωθώντας το έτσι ώστε να συμπιέσει το ελατήριο των βαλβίδων. Καταπονούνται σε λυγισμό και θλίψη.

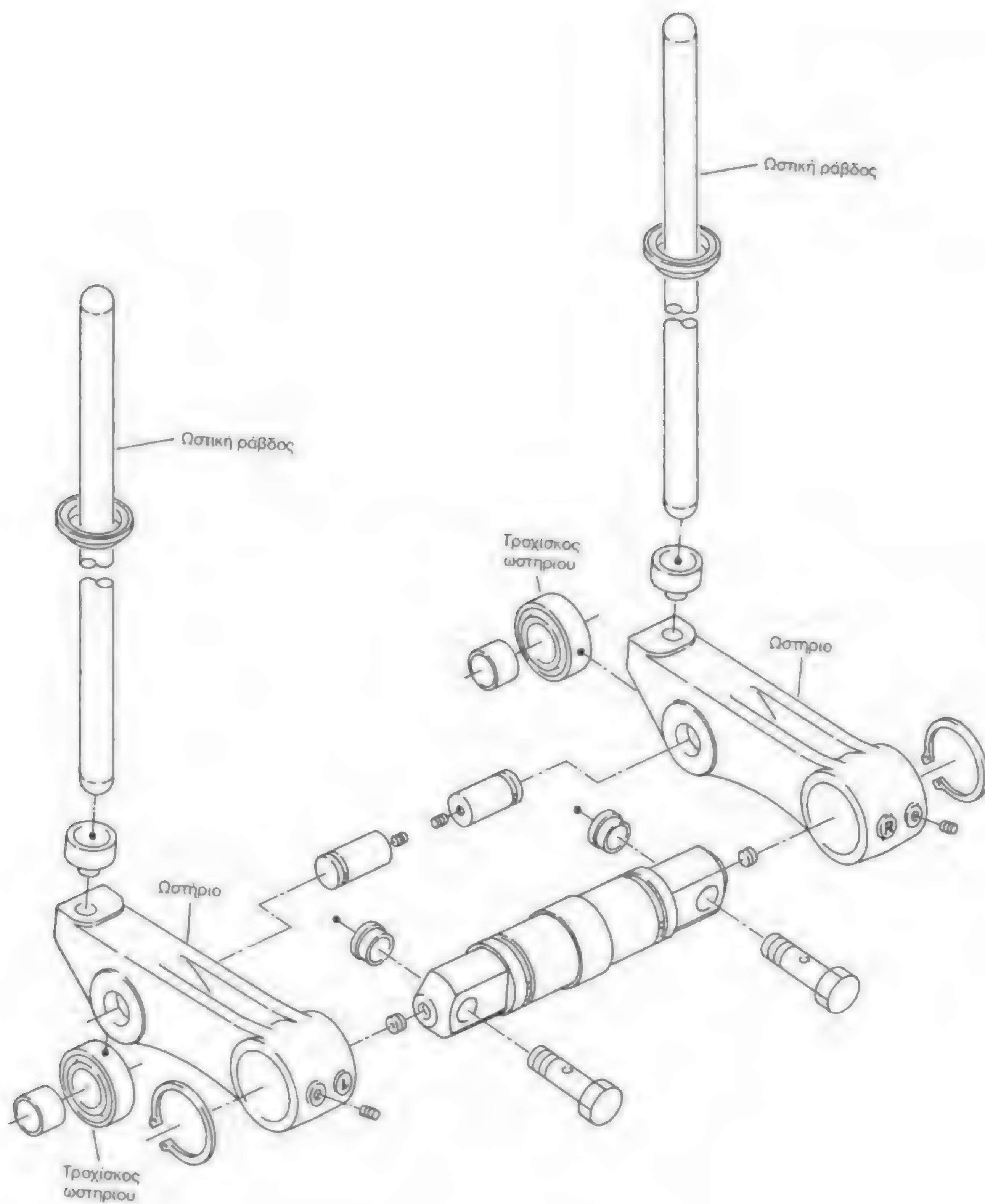
Η επιφάνεια του ζυγώθρου που μεταδίδει την κίνηση στην ουρά της βαλβίδας είναι ημισφαιρική, για να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη επαφή κατά την ταλαντωτική κίνηση του ζυγώθρου γύρω από τον άξονά του.

Οι επιφάνειες των παραπάνω τμημάτων που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, έχουν υποσθεί κατεργασία επιφανειακής σκληρύνσεως. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η συνεχής λίπανση των παραπάνω τμημάτων, λόγω των μεγάλων τριβών και των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Ενδεχόμενη διακοπή της λιπάνσεως θα έχει ως αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά και καταστροφή τους. Ειδικά για την επιφάνεια επαφής εκκέντρου και ωστηρίου, το πάχος της μεμβράνης λαδιού πρέπει να διατηρείται σε προκαθορισμένα όρια, για την πρόληψη της φθοράς των τριβομένων επιφανειών.

γ) Ελατήρια βαλβίδων.

Τα ελατήρια των βαλβίδων έχουν ως σκοπό να τις επαναφέρουν στην κλειστή τους θέση, μετά την επίδραση της ωθήσεως του εκκέντρου στο μηχανισμό κινήσεώς τους. Τα ελατήρια είναι σπειροειδή και στηρίζονται στο κάτω άκρο τους στο φορέα των ελατηρίων. Στο άνω άκρο τους συνδέονται με την ουρά της βαλβίδας μέσω ενός δίσκου (του κυαθίου του ελατηρίου) και ενός συστήματος διαιρουμένων ασφαλειών (σχ. 2.4γ και 5.5ιστ). Όταν η βαλβίδα είναι στην κλειστή θέση, το ελατήριό της βρίσκεται υπό τάση, για να εξασφαλίζεται η στεγανοποίηση της επαφής της με την έδρα της βαλβίδας. Ο αριθμός των σπειρών τους και τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους επιλέγονται με γνώμονα την αποφυγή του συντονισμού τους από τις συχνότητες λειτουργίας του μηχανισμού κινήσεως των βαλβίδων. Ο συντονισμός μπορεί να επιφέρει πρόωρη αστοχία του ελατηρίου.

Χρησιμοποιούνται συνήθως διπλά ελατήρια. Το δεύτερο ελατήριο είναι τοποθετημένο εσωτερικά και ομόκεντρα του πρώτου. Έχουν αντίθετη ελίκωση, ενώ και με θραύση του ενός η βαλβίδα δεν κινδυνεύει να χάσει ύψος και να συγκρουσθεί με το



Σχ. 5.5ιε.
Ωστήρια με τροχίσκο και ωστικές ράβδοι, τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής.

έμβολο (προκαλώντας σοβαρές ζημιές τόσο στην ίδια όσο και στο έμβολο και το χιτώνιο). Τα δύο ελατήρια έχουν διαφορετική διατομή, οπότε μειώνονται οι πιθανότητες συντονισμού τους.

Τα ελατήρια κατασκευάζονται από κεκραμένο χάλυβα ελατηρίων με στοιχεία κραματώσεως το χρώμιο, το βανάδιο και το πυρίτιο, έτσι ώστε εκτός από την αντοχή τους στην κυκλική φόρτιση και τις ταλαντώσεις να εξασφαλίζουν σκληρότητα και ελαστικότητα.

Η θραύση των ελατηρίων οφείλεται συνήθως σε κόπωση, λόγω της δυναμικής τους καταπονήσεως (κυκλικές φορτίσεις). Η καταπόνηση επιταχύνεται από την επιφανειακή τους διάβρωση λόγω της πιθανής κακής συντηρήσεώς τους. Μετά από μεγάλο αριθμό ωρών λειτουργίας, μειώνεται η τάση επαναφοράς του ελατηρίου, δημιουργώντας προβλήματα στη στεγανοποίηση του θαλάμου καύσεως.

δ) Διάκενο βαλβίδων.

Το σύστημα ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων, αποτελείται από μια σειρά από μεταλλικά εξαρτήματα, των οποίων η γεωμετρία επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Έτσι, εάν δεν υπάρχει το κατάλληλο διάκενο μεταξύ της βαλβίδας και των εξαρτημάτων αυτών, λόγω της αυξήσεως της θερμοκρασίας τα εξαρτήματα διαστέλλονται, με αποτέλεσμα η βαλβίδα να μην κλείνει στεγανά. Εάν το διάκενο είναι μεγαλύτερο από το κανονικό που χρειάζεται για να καλύψει τις διαστολές, τότε το μέγιστο άνοιγμα της βαλβίδας είναι μικρότερο από το κανονικό. Ταυτόχρονα, ακούγεται κι ένα χαρακτηριστικό μεταλλικό κτύπημα κατά το άνοιγμα των βαλβίδων, τη στιγμή που το ζύγωθρο κτυπά τη βαλβίδα, για να ανοίξει.

Το διάκενο αυτό ορίζεται από τον κατασκευαστή και συνήθως είναι μεγαλύτερο για τις βαλβίδες εξαγωγής, επειδή διαστέλλονται περισσότερο, λόγω της επαφής τους με τα θερμά καυσαέρια.

Το διάκενο των βαλβίδων ρυθμίζεται με τη βοήθεια ενός φίλλερ, σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- Το έμβολο του κυλίνδρου που θα ρυθμιστεί, μεταφέρεται στο ΑΝΣ στο χρόνο της συμπιέσεως, έτσι ώστε οι βαλβίδες να είναι κλειστές.
- Ελέγχεται το διάκενο των βαλβίδων με φίλλερ.
- Αν το διάκενο δεν είναι το κατάλληλο, απασφαλίζεται ο κοχλίας (ή οι κοχλίες) ρυθμίσεως.
- Περνιέται η κατάλληλη λάμα του φίλλερ μεταξύ της ουράς της βαλβίδας και του ζυγώθρου (κοκοράκι).
- Συσφίγγεται ο κοχλίας ρυθμίσεως, για να επιτευχθεί το σωστό διάκενο, με το φίλλερ να βρίσκεται μεταξύ ζυγώθρου και ουράς της βαλβίδας.
- Ελέγχεται πάλι το διάκενο με το φίλλερ.

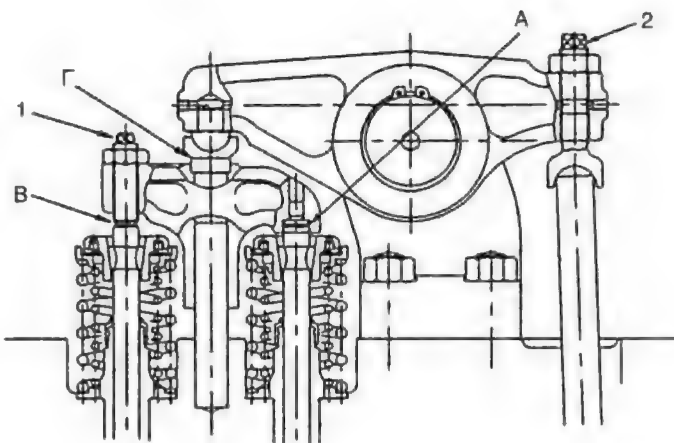
Στην περίπτωση που το ζύγωθρο κινεί μέσω γέφυρας ή μέσω δεύτερου ζυγώθρου δύο βαλβίδες ταυτόχρονα, η διαδικασία τροποποιείται, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (σχ. 5.5ιστ).

ε) Επιθεωρήσεις – Έλεγχοι βαλβίδων.

Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των γενικών επιθεωρήσεων των βαλβίδων και των εδρών τους δίνονται από τον κατασκευαστή και αναγράφονται στα εγχειρίδια συντηρήσεως των μηχανών, ενώ κυμαίνονται σημαντικά ανά τύπο μηχανής.

Η μέτρηση του διακένου των βαλβίδων γίνεται συνήθως ανά 1000 ώρες λειτουργίας.

Οι χρόνοι επιθεωρήσεων των βαλβίδων ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, το υλικό κα-



Σχ. 5.5ιστ.

Διαδικασία ρυθμίσεως διακένου σε βαλβίδες τετράχρονης μηχανής, που μετακινούνται παράλληλα. Αφού έρθουν στην κλειστή θέση (με το έμβολο στο ΑΝΣ μετά το τέλος της συμπιέσεως), χαλαρώνονται τα ασφαλιστικά περικόχλια και οι αντίστοιχοι κοχλίες ρυθμίσεως (1) και (2). Συσφίγγεται ο κοχλίας ρυθμίσεως (1) έτσι ώστε οι ουρές των δύο βαλβίδων να εφάπτονται στο μηχανισμό ταυτόχρονης κινήσεώς τους και ασφαλίζεται με το περικόχλιο ασφαλίσεως. Τοποθετείται το κατάλληλο φίλλερ στη θέση Γ και συσφίγγεται ο κοχλίας ρυθμίσεως (2), ενώ στη συνέχεια ασφαλίζεται με τη σύσφιγξη του ασφαλιστικού περικοχλίου.

τασκευής και ανάλογα με την ύπαρξη ή μη μηχανισμού περιστροφής (rotocap ή πτερύγια), κυμαίνονταν από 2.000 έως 3.000 ώρες λειτουργίας στις παλαιότερες μηχανές. Στις νεότερες μηχανές, οι χρόνοι μεταξύ γενικών επιθεωρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 6.000 έως και 18.000 ωρών λειτουργίας (σχ. 5.5ιζ), για χρήση βαρέος πετρελαίου, ενώ για χρήση πετρελαίου Diesel ξεπερνούν τις 20.000 ώρες.

Τυπικά όρια ζωής με τη χρήση βαρέος πετρελαίου είναι 12.000 ώρες για τις βαλβίδες εξαγωγής, 24.000 ώρες για τις έδρες τους και 36.000 ώρες για τις βαλβίδες εισαγωγής και τις έδρες τους. Τα παραπάνω όρια αυξάνονται σημαντικά με τη χρήση πετρελαίου Diesel, ενώ είναι γενικά, μεγαλύτερα στις μικρότερες μηχανές (ηλεκτρομηχανές).

Εάν μετά την αφαίρεση και τον καθαρισμό από τα εξανθρακώματα και τις επικαθήσεις, οι βαλβίδες και οι έδρες τους είναι καθαρές ή έχουν διαβρωθεί σε μικρό βάθος, τότε αλείφονται οι έδρες με στρώμα σμυριδαλοιφής (χρησιμοποιώντας σταδιακά αλοιφή λεπτότερου κόκκου). Τρίβονται μάλιστα με το χέρι (με τη χρήση βεντούζας) ή με ειδική συσκευή μέχρι να εξαφανιστούν οι διαβρώσεις. Ακολουθεί στρώσιμο με τη χρήση λαδιού. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται συνήθως στις βαλβίδες μικρού μεγέθους.



Σχ. 5.5ιζ.
Συσσώρευση επικαθήσεων σε βαλβίδα εξαγωγής τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, μετά από 10.000 ώρες λειτουργίας με βαρύ πετρέλαιο.

Σε μεγάλου μεγέθους βαλβίδες, εάν οι διαβρώσεις και οι γραμμώσεις έχουν μεγάλο βάθος, γίνεται καθαρισμός και λείανση των βαλβίδων και των εδρών τους, με τη βοήθεια ειδικών λειαντικών μηχανημάτων (βαλβιδοτρίφτες).

Στη συνέχεια, γίνεται έλεγχος στεγανότητας της βαλβίδας, με την ακόλουθη μέθοδο: η έδρα της βαλβίδας στην επιφάνεια επαφής της με την κεφαλή της βαλβίδας βάφεται με ελαφρό χρώμα (μίνιο) ή άλλο υλικό. Στη συνέχεια, τοποθετείται η βαλβίδα στη θέση της και περιστρέφεται χειροκίνητα πάνω στην έδρα της. Εάν τα ίχνη του χρώματος είναι σε όλη την περιφέρεια της επιφάνειας επαφής της κεφαλής της βαλβίδας και τουλάχιστον στα 2/3 του πάχους της ζώνης επαφής, τότε η στεγανότητα κρίνεται ικανοποιητική.

στ) Προϋποθέσεις για την καλή λειτουργία του μηχανισμού κινήσεως και των βαλβίδων.

Οι βασικές προϋποθέσεις για τη σωστή λειτουργία των βαλβίδων και των μηχανισμών κινήσεώς τους είναι οι ακόλουθες:

- Η απουσία φθορών και επικαθήσεων στη ζώνη επαφής της κεφαλής με την έδρα της βαλβίδας.
- Η τήρηση των χρόνων μεταξύ των επιθεωρήσεων και της αντικαταστάσεως.
- Η σωστή ρύθμιση του διακένου.
- Η σωστή λίπανση και ψύξη.
- Ο σωστός εσωτερικός χρονισμός.
- Η απουσία φθορών στις επιφάνειες επαφής του κινηματικού μηχανισμού (ειδικά στα έκκεντρα).
- Η αλυσίδα για την κίνηση του εκκεντροφόρου να βρίσκεται υπό σωστή τάση.
- Να μην υπάρχουν εξασθενημένα ή παραμορφωμένα ελατήρια επαναφοράς.

5.6 Έμβολα – Ελατήρια εμβόλων.

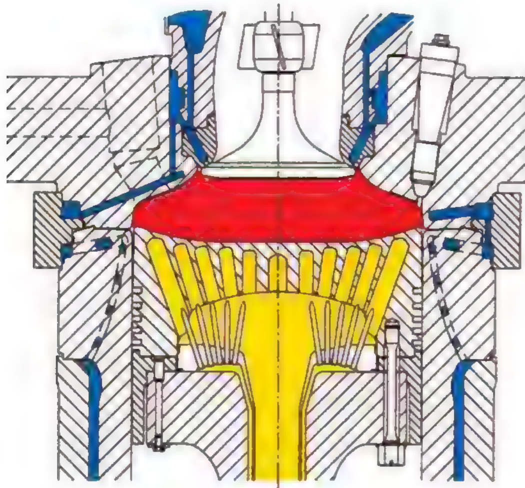
5.6.1 Έμβολο (piston).

α) Γενικά.

Το έμβολο, με την παλινδρομική του κίνηση εντός του κυλίνδρου, μετατρέπει την πίεση από την εκτόνωση των καυσαερίων σε μηχανικό έργο.

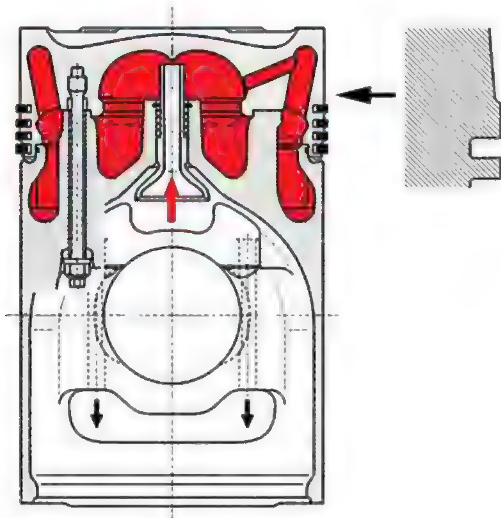
Το άνω τμήμα του εμβόλου, όταν βρίσκεται στο ΑΝΣ, σχηματίζει μαζί με την εσωτερική επιφάνεια

του πώματος και τα εσωτερικά τοιχώματα του χιτωνίου το θάλαμο καύσεως (σχ. 5.6α). Ανάλογα με τον τύπο της μηχανής η μορφή της άνω επιφάνειας του εμβόλου διαφοροποιείται και συνεπώς και η μορφή του θαλάμου καύσεως. Μπορεί να είναι επίπεδη, ή (συνήθως) κοίλη, ή να φέρει κατάλληλη διαμόρφωση με εξόγκωμα για την καθοδήγηση της ροής του αέρα και των καυσαερίων κατά τη σάρωση (σχ. 5.6β). Μπορεί να φέρει κατάλληλες κοιλότητες για να επιτρέπεται η ελεύθερη κάθοδος των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, χωρίς αυτές να έρχονται σε επαφή με το έμβολο, όταν αυτό βρίσκεται στο ΑΝΣ. Το σχήμα της επιφάνειας του εμβόλου διαμορφώνεται έτσι ώστε να διευκολύνει το στροβιλισμό του εισερχόμενου αέρα κατά τη φάση της εισαγωγής, αλλά και την ανάμειξή του με τις δέσμες του καυσίμου κατά τη φάση της εγχύσεως. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη διαμόρφωση της άνω επιφάνειας του εμβόλου και το σχήμα των θαλάμων καύσεως θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

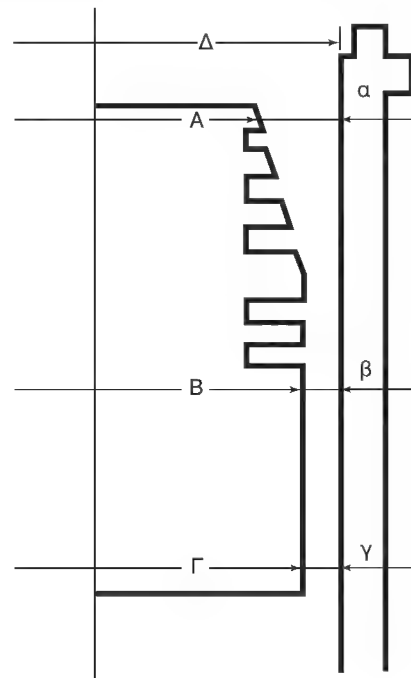


Σχ. 5.6α.
Τομή εμβόλου, χιτωνίου και πώματος κυλίνδρου σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή, όπου διακρίνεται το σχήμα του θαλάμου καύσεως και η κατασκευή του εμβόλου.

Αν και το έμβολο φαίνεται να έχει κυλινδρικό σχήμα, στην πραγματικότητα είναι κωνικό-βαρελοειδές. Η κωνικότητά του επιβάλλεται από το γεγονός ότι το άνω τμήμα του (κεφαλή ή κορώνα) υπόκειται σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες, οπότε εμφανίζει μεγαλύτερη διαστολή (σχ. 5.6γ). Έτσι με ένα αρχικά κωνικό σχήμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, το άνω τμήμα θερμαινόμενο καταλήγει σε σχεδόν κυλινδρικό σχήμα, με αποτέλεσμα τα δι-



Σχ. 5.6β.
Τομή εμβόλου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής. Η σύνδεση με το διωστήρα γίνεται με τη χρήση πείρου. Στην εξωτερική επιφάνεια της κεφαλής του εμβόλου (κορώνας) διακρίνονται δύο διαβαθμίσεις για την κάθοδο των βαλβίδων. Το λάδι οδηγείται με πίεση στο εσωτερικό της κεφαλής από την κεφαλή του διωστήρα (κόκκινο βέλος). Αφού την ψύξει, επιστρέφει με ελεύθερη πτώση στο στροφαλοθάλαμο (μαύρα βέλη). Η κατασκευαστική λεπτομέρεια πάνω δεξιά, δείχνει την κωνικότητα της κεφαλής του εμβόλου.



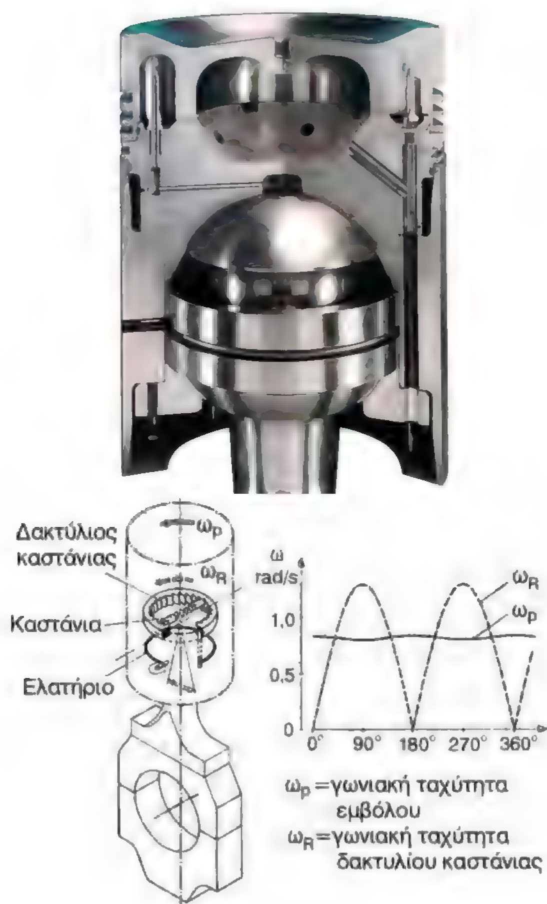
Σχ. 5.6γ.
Κωνική-βαρελοειδής διατομή εμβόλου για την παραλαβή των μεγαλυτέρων διαστολών στην κορυφή του, λόγω αυξημένης θερμοκρασίας. Διακρίνονται οι θέσεις μετρήσεως των διακένων μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου.

άκενα μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου κατά τη λειτουργία της μηχανής να μην διαφέρουν σημαντικά καθ' ύψος του εμβόλου.

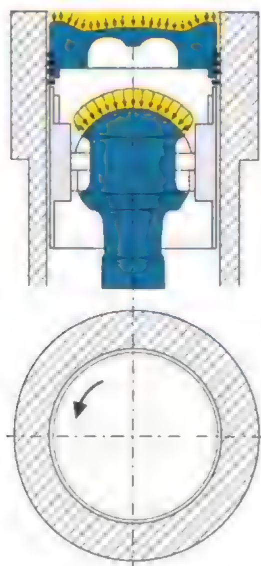
Η σύνδεση εμβόλου και διωστήρα (στις μηχανές χωρίς βάκτρο) δεν γίνεται απαραίτητα με τη χρήση πείρου αλλά μπορεί να γίνει και με κατάλληλη σφαιρική διαμόρφωση της κεφαλής του διωστήρα και αντίστοιχη κοίλη διαμόρφωση της υποδοχής στο εσωτερικό του εμβόλου (σχ. 5.6δ). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την περιστροφή του εμβόλου γύρω από τον άξονά του με τη χρήση κατάλληλου μηχανισμού (με καστάνια). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ομοιόμορφη διανομή της θερμοκρασίας στο έμβολο, μείωση των τάσεων στην επιφάνεια επαφής εμβόλου και διωστήρα (λόγω αυξήσεως της επιφάνειας επαφής), ομοιόμορφη περιφερειακά διανομή των παραπάνω τάσεων, περιμετρικά ομοιόμορφη φθορά των ελατηρίων, ομοιόμορφη λίπανση του κυλίνδρου και μείωση της καταναλώσεως κυλινδρελαίου (σχ. 5.6ε).

β) Καταπονήσεις εμβόλων.

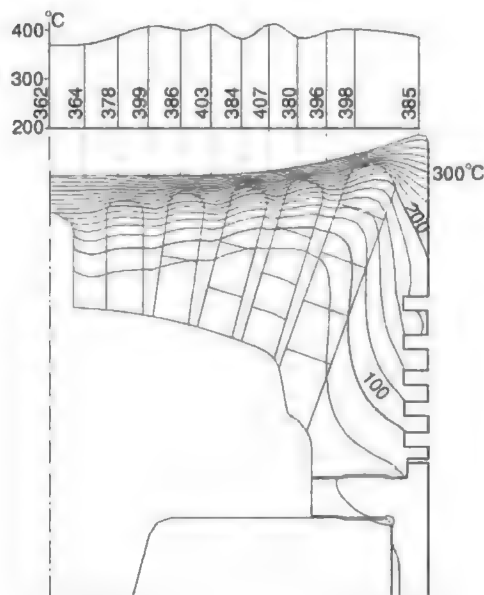
Το έμβολο καταπονείται από θλιπτικές τάσεις λόγω της εκτονώσεως των καυσαερίων (καθώς και κατά τη φάση της συμπιέσεως) και από θερμικές τάσεις εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού άνω τμήματος της κεφαλής του και του ψυχόμενου εσωτερικού του (σχ. 5.6στ



Σχ. 5.6δ.
Έμβολο μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής με ημισφαιρική έδραση του διωστήρα και μηχανισμό περιστροφής του.



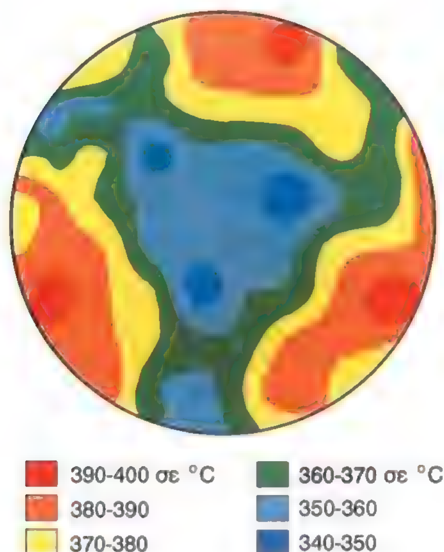
Σχ. 5.6ε.
Διανομή των πιέσεων στην ημισφαιρική έδραση του διωστήρα σε έμβολο με μηχανισμό περιστροφής του.



Σχ. 5.6στ.
Ισοθερμοκρασιακές καμπύλες (σε °C) στην κεφαλή εμβόλου δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής. Φαίνεται η σημαντική μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχετικά μικρό πάχος μετάλλου.

και 5.6ζ). Επίσης, για μηχανές χωρίς βάκτρο, όταν το έμβολο δεν βρίσκεται στο άνω ή στο κάτω νεκρό σημείο, καταπονείται σε οριζόντιες θλιπτικές τάσεις. Αυτό προκαλείται λόγω της οριζόντιας συνιστώσας (κάθετης στον πείρο του εμβόλου) της δυνάμεως, που εξασκείται στο έμβολο κατά τις φάσεις της συμπιέσεως και της εκτονώσεως.

Το θερμαινόμενο άνω εξωτερικό τμήμα του εμβόλου τείνει να διασταλεί λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, αλλά εμποδίζεται από το εσωτερικό ψυχόμενο τμήμα. Έτσι το πρώτο καταπονείται από θλιπτικές θερμικές τάσεις, ενώ το δεύτερο από εφελκυστικές. Οι θερμικές αυτές τάσεις προστίθενται στις θλιπτικές τάσεις που προέρχονται από την εκτόνωση των καυσαερίων. Η μεγαλύτερη καταπόνηση όπως είναι φυσικό εμφανίζεται στο ανώτερο τμήμα του εμβόλου (κεφαλή), το οποίο (για το λόγο αυτό) κατασκευάζεται συνήθως από ισχυρότερα υλικά (κραματωμένο χυτοχάλυβα). Οι εσωτερικές εφελκυστικές τάσεις αυξάνονται σημαντικά στα ισχυρά θερμικά φορτία (λόγω σταξίματος των εγχυτήρων, λόγω κακής μεταδόσεως της θερμότητας από την εναπόθεση δυσθερμαγωγών καταλοίπων στο χώρο ψύξεως, ή λόγω της υπερφορτίσεως του κινητήρα) και προκαλούν εσωτερικές ρωγμές που σιγά-σιγά επεκτείνονται προς τα έξω. Συνήθως εμφανίζονται στην περιοχή των αυλάκων των ελατηρίων, όπου λόγω του μικρότερου πάχους του εμβόλου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες κλίσεις της θερμοκρασίας, άρα και οι μεγαλύτερες θερμικές τάσεις.



Σχ. 5.6ζ.
Διανομή θερμοκρασιών στην εξωτερική επιφάνεια της κορώνας σε έμβολο δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής. Οι περιοχές υψηλής θερμοκρασίας (έντονο κόκκινο) στην περίμετρο του εμβόλου συνδέονται με την ύπαρξη τριών εγχυτήρων πετρελαίου σε αντίστοιχες θέσεις.

Υπερθέρμανση της κεφαλής και ακόλουθη ψύξη (λόγω απότομης μειώσεως του φορτίου), προκαλεί εμφάνιση ακτινικών ρωγμών, που οδηγούν στην καταστροφή της κεφαλής του εμβόλου. Με την ψύξη που ακολουθεί την υπερθέρμανση, εμφανίζονται εφελκυστικές τάσεις στην εξωτερική επιφάνεια της κεφαλής, οι οποίες προκαλούν τις ρωγμές.

Ο υπολογισμός των τάσεων που καταπονούν τα έμβολα, γίνεται σήμερα με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών και με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

γ) Υλικό κατασκευής εμβόλων.

Λόγω της ισχυρής καταπονήσεως του εμβόλου από υψηλές θερμοκρασίες και ισχυρές τάσεις, απαιτούνται ειδικές ιδιότητες από τα υλικά κατασκευής του, οι οποίες συχνά είναι αντικρουόμενες:

- Μικρή πυκνότητα, άρα και μικρότερο βάρος (για μικρότερες δυνάμεις αδράνειας).
- Διατήρηση της αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες.
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα για πιο αποδοτική ψύξη.
- Η μικρότερη δυνατή θερμική διαστολή για τη διατήρηση των απαραιτήτων διακένων μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου.
- Ελάχιστη αντίσταση τριβής, όταν το έμβολο έρθει σε επαφή με τον κύλινδρο.
- Μεγάλη αντοχή στη φθορά λόγω διαβρώσεων.

Το υλικό κατασκευής δεν είναι συνήθως το ίδιο για όλα τα τμήματα του εμβόλου. Εξαρτάται από τον τύπο και την ισχύ της μηχανής και από την καταπόνηση του συγκεκριμένου τμήματος του εμβόλου. Έτσι, στις δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές, το υλικό της κεφαλής του εμβόλου (το οποίο καταπονείται και περισσότερο) κατασκευάζεται συνήθως από κραματωμένους χυτοχάλυβες (με στοιχεία κραματώσεως το χρώμιο και το μολυβδαίνιο). Η κατασκευή της κεφαλής γίνεται και από σφυρήλατο χάλυβα, για αύξηση της αντοχής. Η επιλογή των κραματωμένων χυτοχαλύβων γίνεται, γιατί το βάρος τους είναι κατά 50% έως 60% μικρότερο από αυτό του χυτοσιδήρου (για την ίδια αντοχή), η θερμική τους αγωγιμότητα είναι μεγαλύτερη, ενώ παρουσιάζουν και μικρότερη τάση για σχηματισμό εξανθρακωμάτων στην κεφαλή. Κύριο μειονέκτη-

μά τους είναι ο μεγαλύτερος συντελεστής θερμικής διαστολής σε σχέση με το χυτοσίδηρο, οπότε το έμβολο στο άνω μέρος του πρέπει να κατασκευάζεται κωνικό, για να εξισορροπείται η μεγαλύτερη αύξηση της διαμέτρου του.

Το σώμα του εμβόλου των αργοστρόφων πετρελαιομηχανών (καθώς και η ποδιά, όπου υπάρχει) κατασκευάζεται συνήθως από χυτοσίδηρο, μιας και καταπονείται πολύ λιγότερο από την κεφαλή.

Στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές η κατασκευή του εμβόλου γινόταν από φαιό χυτοσίδηρο. Σήμερα, η κατασκευή των εμβόλων στις μεσόστροφες μηχανές γίνεται συνήθως με διαφορετικά υλικά για κάθε τμήμα του εμβόλου. Η περισσότερο καταπονούμενη κεφαλή κατασκευάζεται συχνά από κραματωμένο χυτοχάλυβα. Το σώμα και η ποδιά κατασκευάζονται με τη χρήση φαιού χυτοσιδήρου (με σφαιροειδή γραφίτη) ή από ειδικά κράματα αλουμινίου (ντουραλουμίνιο). Ειδικά, στις ταχύστροφες μηχανές, ο χυτοσίδηρος και ο χάλυβας έχουν σχεδόν πλήρως αντικατασταθεί από τα κράματα αλουμινίου (με προσμείξεις νικελίου), που λόγω μειωμένου βάρους, μειώνουν αντίστοιχα τις αδρανειακές δυνάμεις στα έδρανα του διωστήρα και στις παρειές του χιτωνίου. Στα έμβολα που κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου, αυξάνεται η φθορά στους αύλακες τοποθετήσεως των ελατηρίων (λόγω της μειωμένης σκληρότητας του αλουμινίου σε σχέση με το χυτοσίδηρο των ελατηρίων). Στα συγκεκριμένα σημεία τοποθετούνται ένθετα ενισχυτικά των αυλάκων, μέσα στα οποία τοποθετούνται τα ελατήρια. Τα ένθετα αυτά κατασκευάζονται συνήθως από χυτοσίδηρο. Αντίστοιχα, στα χυτοσιδηρά έμβολα, οι αύλακες των ελατηρίων επιχρωμιώνονται συχνά για την αύξηση της σκληρότητας και τη μείωση της φθοράς του εμβόλου στο συγκεκριμένο σημείο (τα ελατήρια κατασκευάζονται από μαλακότερο υλικό, οπότε φθείρονται εκείνα, τα οποία και αντικαθίστανται, και δεν φθείρεται το πολύ ακριβότερο έμβολο).

Τα έμβολα που κατασκευάζονται εξ ολοκλήρου από κράματα αλουμινίου, κινδυνεύουν από τις επικαθήσεις εξανθρακωμάτων στην κεφαλή τους. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται τοπικά κατά την καύση των εξανθρακωμάτων, καίγεται τοπικά και το υλικό του εμβόλου.

Για τη μείωση της διαβρώσεως στην άνω εξωτερική επιφάνεια του εμβόλου από τη χρήση βαρέων πετρελαίων, πραγματοποιούνται έρευνες για την εύρεση καταλλήλων επικαλύψεων από ιδιαίτερα ανθεκτικά κράματα με βάση το νικέλιο και το χρώμιο (superalloys) όπως το ***inconel***. Όμως η διαφορετική θερμική διαστολή των υλικών αυτών σε σχέση με το κύριο υλικό κατασκευής της κεφαλής, προκαλεί ισχυρές θερμικές τάσεις, που συχνά καταστρέφουν την επικάλυψη, μειώνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής της επικαλύψεως στην κεφαλή του εμβόλου (σχ. 5.6η).



Σχ. 5.6η.
Φθορά της επικαλύψεως στην κεφαλή (κορώνα) εμβόλου δίχρονης πετρελαιομηχανής.

δ) Διάκενα (ανοχές–ελευθερίες) μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου.

Η παλινδρόμηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο πρέπει να γίνεται ελεύθερα, χωρίς το έμβολο να έρχεται σε επαφή με το χιτώνιο (σχ. 5.6γ). Η στεγανοποίηση του κυλίνδρου δεν προκαλείται από την επαφή εμβόλου και κυλίνδρου, αλλά με τη βοήθεια των ελατηρίων συμπιέσεως του εμβόλου. Έτσι η ύπαρξη του διακένου επιτρέπει να παραλαμβάνονται οι θερμικές διαστολές του εμβόλου, ενώ παράλληλα μειώνονται σημαντικά οι τριβές κατά την κίνηση του εμβόλου (αφού μειώνεται σημαντικά η επιφάνεια τριβής και περιορίζεται στο χώρο μεταξύ ελατηρίων και χιτωνίου). Το ελάχιστο διάκενο μεταξύ χιτωνίου και εμβόλου εμφανίζεται στο σημείο της μεγαλύτερης διαμέτρου του εμβόλου, όταν αυτό περνά από την περιοχή του χιτωνίου με τη μικρότερη διάμετρο. Η μέγιστη διάμετρος του εμβόλου παρατηρείται συνήθως στο ύψος του πείρου του.

Στις τετράχρονες μηχανές, οι ανοχές μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου στο άνω μέρος του εμβόλου είναι της τάξεως του 0,1% της διαμέτρου του κυλίνδρου. Στις δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές είναι της τάξεως του 0,2% της διαμέτρου του κυλίνδρου (οι τελευταίες υπόκεινται συνήθως σε μεγαλύτερες θερμικές καταπονήσεις). Οι ανοχές αυτές είναι μεγαλύτερες στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται αφαιρούμενος δακτύλιος στο άνω μέρος του χιτωνίου. Στο κάτω μέρος του εμβόλου το διάκενο είναι σχεδόν το μισό, λόγω της κωνικής μορφής του.

Ένα σημαντικό πρόβλημα εξαιτίας της χρήσεως του αλουμινίου στην κατασκευή των εμβόλων, είναι η μεγάλη θερμική διαστολή του σε σχέση με το χυτοσίδηρο και το χυτοχάλυβα. Για το λόγο αυτό, τα αλουμινένια έμβολα πρέπει να κατασκευάζονται με μεγαλύτερα διάκενα (ως προς το χιτώνιο), με τιμές διπλάσιες έως τριπλάσιες των αντιστοίχων από χυτοσίδηρο.

ε) Ψύξη του εμβόλου.

Η διατήρηση της αντοχής και των διαστάσεων του εμβόλου δεν μπορεί να γίνει στις μεσόστροφες και αργόστροφες πετρελαιομηχανές χωρίς την εσωτερική ψύξη του εμβόλου. Η ψύξη πραγματοποιείται με την προσαγωγή ψυκτικού υγρού εσωτερικά του εμβόλου, όσο το δυνατόν πιο κοντά στην εξωτερική ανώτερη επιφάνειά του, όπου αναπτύσσονται τα μεγαλύτερα θερμικά φορτία λόγω καύσεως.

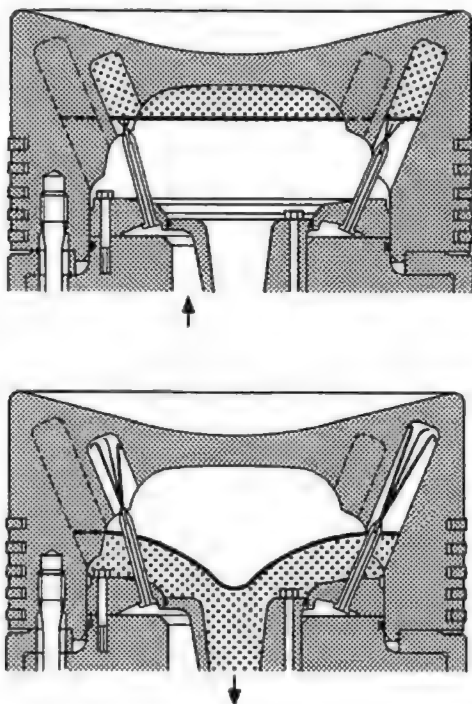
1) Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.

Στις αργόστροφες πετρελαιομηχανές το ψυκτικό υγρό μπορεί να είναι είτε νερό είτε λάδι. Το νερό χρησιμοποιείται ως ψυκτικό, γιατί διαθέτει μεγαλύτερη ειδική θερμοχωρητικότητα από το λάδι, οπότε μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας για δεδομένη παροχή μάζας. Με τη χρήση νερού αντί για λάδι είναι δυνατό να αυξηθεί ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας περισσότερο από 5 φορές. Το εύλογο ερώτημα που ανακύπτει, είναι γιατί δεν χρησιμοποιείται αποκλειστικά νερό στην ψύξη των εμβόλων. Στο αντίστοιχο σύστημα υπάρχει ο κίνδυνος διαρροής του νερού προς το στροφαλοθάλαμο και την ελαιολεκάνη, με αποτέλεσμα την καταστροφή του λιπαντικού. Έτσι, το νερό ως ψυκτικό των εμβόλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά σε μηχανές με βάκτρο, ζύγωμα και στυπειοθλίπτη, όπου η παρουσία του διαφράγματος και του στυπειοθλίπτη αποκλείει την ανάμειξη διαρρέοντος νερού με το λιπαντικό του στροφαλοθαλάμου.

Το νερό μεταφέρεται στο εσωτερικό του εμβόλου συνήθως με τη χρήση τηλεσκοπικών σωλήνων, παραλλήλων με το βάκτρο. Το λάδι συνήθως μεταφέρεται στο έμβολο μέσω εσωτερικού αγωγού στο βάκτρο, ξεκινώντας από το ζύγωμα (όπου προσάγεται με τη χρήση αρθρωτών σωλήνων), ενώ επιστρέφει στο ζύγωμα μέσω ομόκεντρου αγωγού. Όταν σταματήσει η λειτουργία της μηχανής, το σύστημα ψύξεως των εμβόλων αδειάζει για να αποφευχθούν οι διαρροές. Με τη χρήση του νερού ως ψυκτικού μειώνεται η κατανάλωση λαδιού, γιατί το λάδι, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του στο εσωτερικό του εμβόλου γηράσκει πιο γρήγορα.

Χρησιμοποιούνται κατά βάση δύο είδη συστημάτων ψύξεως, το ***σύστημα πλήρους ροής*** και το ***σύστημα με ανάδευση*** (cocktail shaking). Στο σύστημα πλήρους ροής η κοιλότητα του εμβόλου όπου κυκλοφορεί το ψυκτικό, γεμίζει με ψυκτικό υγρό. Αντίθετα, στο σύστημα με ανάδευση η κοιλότητα είναι μερικώς γεμάτη με ψυκτικό υγρό, το οποίο, λόγω της παλινδρομήσεως του εμβόλου, παφλάζει στα εσωτερικά τοιχώματα, απάγοντας τη θερμότητα. Το δεύτερο αυτό σύστημα μπορεί να συνδυαστεί με τη χρήση πιδάκων ψυκτικού, που εκτοξεύονται από ειδικούς εγχυτήρες στο εσωτερικό των κοιλοτήτων του εμβόλου με κατεύθυνση προς τα πάνω (σχ. 5.6θ, 5.6ι και 5.6ια). Οι κοιλότητες στην

κεφαλή του εμβόλου έχουν συχνά μορφή διαμήκους οπής, έτσι ώστε το ψυκτικό υγρό να φτάνει πολύ κοντά στην άνω εξωτερική επιφάνεια του εμβόλου, χωρίς να μειώνεται η αντοχή του (bore cooling). Με την κατάλληλη σχεδίαση των οπών αυτών είναι δυνατή η μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του εμβόλου και κυρίως η επίτευξη πιο ομοιομόρφων θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα τη μείωση των θερμικών τάσεων.



Σχ. 5.6θ.
Σύστημα ψύξεως κεφαλής σε έμβολο δίχρονης πετρελαιομηχανής με συνδυασμό εγχύσεως λαδιού στο εσωτερικό οπών στην περιφέρεια και παφλασμό του λαδιού στην κεντρική κοιλότητα. Το άνω σχήμα αντιστοιχεί στο ΑΝΣ, όπου το λάδι λόγω αδράνειας έχει συγκεντρωθεί στην κορυφή της κοιλότητας. Το κάτω σχήμα αντιστοιχεί στο ΚΝΣ, όπου το λάδι λόγω αδράνειας πιέζεται προς τον αγωγό επιστροφής στο κέντρο του βάκτρου.

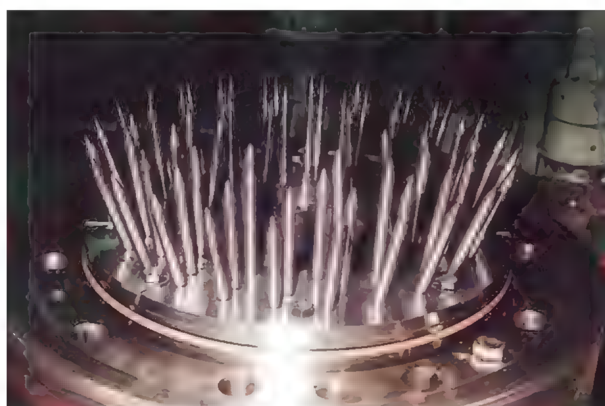
Στις μεγάλες αργόστροφες πετρελαιομηχανές το σύστημα πλήρους ροής επιτυγχάνει συνήθως καλύτερη ψύξη, διότι το σύστημα με ανάδευση επηρεάζεται σημαντικά από τις στροφές της μηχανής, ενώ το σύστημα πλήρους ροής δεν επηρεάζεται. Με το συνδυασμό όμως ψεκασμού και αναδεύσεως ξεπερνιέται το μειονέκτημα αυτό. Σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας του κινητήρα υπερισχύει η απαγωγή θερμότητας με ανάδευση και στα υπόλοιπα (σημεία) με ψεκασμό, οπότε βελτιστοποιείται συνολικά η ψύξη του κινητήρα. Ιδιαίτερη μέριμνα λαμβάνεται με σκοπό η ροή του ψυκτικού να είναι τυρβώδης, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απαγωγή θερμότητας.

2) Μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.

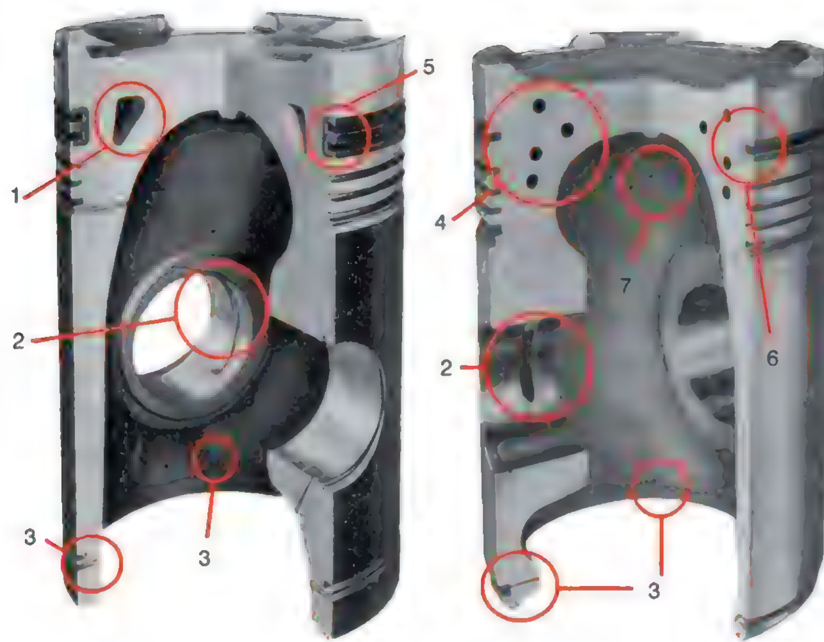
Η ψύξη των εμβόλων στις μεσόστροφες μηχανές πραγματοποιείται με τη χρήση λαδιού και όχι νερού, λόγω της απουσίας βάκτρου και στυπειοθλίπτη. Το λάδι φτάνει στο έμβολο μέσω εσωτερικού αγωγού στο στέλεχος του διωστήρα. Αφού λιπάνει τα έδρανα του πείρου του εμβόλου, οδηγείται στο εσωτερικό του εμβόλου για να το ψύξει. Στη συνέχεια, επιστρέφει στο στροφαλοθάλαμο με ελεύθερη πτώση (σχ. 5.6β). Η ψύξη πραγματοποιείται είτε με την κυκλοφορία του λαδιού σε εσωτερικούς ελικο-



Σχ. 5.6ι.
Οπές ψύξεως σε κεφαλή εμβόλου δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής, όπου εγχύεται λάδι υπό πίεση.



Σχ. 5.6ια.
Εγχυτήρες λαδιού για την ψύξη της κεφαλής εμβόλου δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής.



Σχ. 5.6ιβ.
Δύο τύποι εμβόλων μεσοστρόφων τετραχρόνων πετρελαιομηχανών με διαφορετικού τύπου αγωγούς ψύξεως της κεφαλής με το λάδι της μηχανής (σε τομή). Το λάδι εισέρχεται από τις οπές (2) και ψύχει την κεφαλή μέσω των αγωγών (1) ή (4) και εξέρχεται στο στροφαλοθάλαμο από τις οπές (7) (αντίστοιχες οπές υπάρχουν και στο αριστερό έμβολο οι οποίες δεν είναι ορατές στο σχήμα). Το λάδι που αποξέεται από το κατώτερο ελατήριο λαδιού, επιστρέφει μέσω των οπών (3) στο στροφαλοθάλαμο. Χαρακτηριστικό και των δύο εμβόλων είναι η επικάλυψη σε αρκετό βάθος των αυλάκων των ελατηρίων (5) και (6) για τη μείωση των φθορών της κεφαλής.

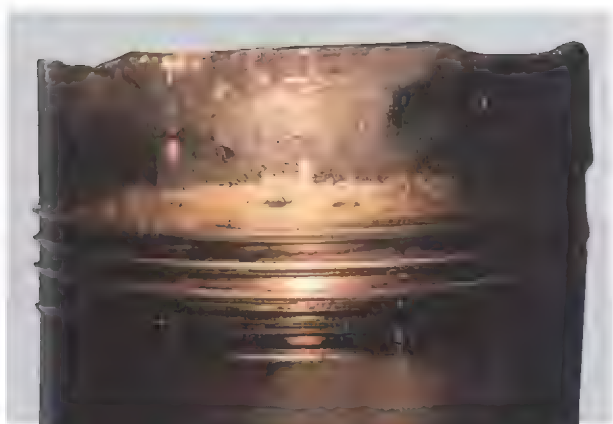
ειδείς αγωγούς (σχ. 5.6ιβ), είτε με τον ψεκασμό λαδιού στο εσωτερικό της κεφαλής του εμβόλου, είτε με τον παφλασμό λαδιού εντός εσωτερικής κοιλότητας. Συνήθως εφαρμόζεται συνδυασμός της μεθόδου με ανάδευση και της μεθόδου με εκτόξευση λαδιού. Στη δεύτερη μέθοδο, το λάδι αφού εκτοξευτεί εντός των οπών, επιστρέφει στη βάση της εσωτερικής κοιλότητας γεμίζοντάς την μέχρι ένα ορισμένο ύψος, οπότε με την παλινδρόμηση παφλάζει και ψύχει τα τοιχώματα της κοιλότητας (σχ. 5.6δ). Η στάθμη του λαδιού στην εσωτερική κοιλότητα ρυθμίζεται με τη χρήση υπερχειλιστή.

Στην περίπτωση που το λάδι οδηγείται σε εσωτερική κοιλότητα και όχι σε σπειροειδείς αγωγούς, η κοιλότητα μπορεί να έχει απλή θολωτή μορφή, ή να διαθέτει διατρήσεις, έτσι ώστε το λάδι να φτάνει πολύ κοντά στην άνω εξωτερική επιφάνεια του εμβόλου.

Στο σχήμα 5.6ιγ παρουσιάζεται έμβολο τετράχρονης πετρελαιομηχανής, η κεφαλή του οποίου έχει υποσθεί σημαντική φθορά λόγω υπερθεμάνσεως.



Σχ. 5.6ιγ.
Έμβολο τετράχρονης πετρελαιομηχανής με σημαντική φθορά στην κεφαλή του λόγω της υψηλής θερμοκρασίας.



Σχ. 5.6ιδ.
Κεφαλή εμβόλου τετράχρονης πετρελαιομηχανής με έντονη συσσώρευση εξανθρακωμάτων μετά από 20.000 ώρες λειτουργίας.

Στο σχήμα 5.6ιδ παρουσιάζεται κεφαλή εμβόλου τετράχρονης πετρελαιομηχανής με συσσώρευση εξανθρακωμάτων μετά από 20.000 ώρες λειτουργίας.

5.6.2 Ελατήρια εμβόλων (piston rings).

Τα ελατήρια του εμβόλου εξασφαλίζουν την απαραίτητη στεγανοποίηση του χώρου καύσεως, για να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή συμπίεση του αέρα, να μην υπάρχει διαφυγή καυσαερίων προς το στροφαλοθάλαμο και να μην επιτρέπεται η εισροή λαδιού λιπάνσεως στο χώρο καύσεως. Επειδή δεν αρκεί η παρουσία ενός ελατηρίου για την επίτευξη της στεγανοποιήσεως, χρησιμοποιείται συστοιχία διαδοχικών ελατηρίων στεγανότητας, τα οποία έχουν ως προορισμό τη στεγανοποίηση του θαλάμου καύσεως. Εκτός από τα ελατήρια στεγανότητας χρησιμοποιούνται και τα ελατήρια λαδιού. Τα τελευταία χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης λαδιού στα τοιχώματα του κυλίνδρου, τη μεταφορά του λαδιού κατά μήκος του κυλίνδρου και την ομοιόμορφη διανομή του στην περιφέρεια του χιτωνίου (σχ. 5.6ιε).

α) Ελατήρια συμπιέσεως (στεγανότητας).

Με τη χρήση των ελατηρίων στεγανότητας επιτυγχάνονται τα εξής:

– Στεγανοποιείται ο χώρος καύσεως και αποφεύγεται η απώλεια συμπιέσεως.
– Μειώνεται η τριβή από την παλινδρόμηση του εμβόλου εντός του χιτωνίου.
– Αποφεύγεται η μόλυνση του λιπαντελαίου και η πιθανότητα φωτιάς στον οχετό σαρώσεως και εκρήξεως στο στροφαλοθάλαμο από τις διαρροές των καυσαερίων.
– Μεταφέρεται θερμότητα από το έμβολο στο ψυχόμενο χιτώνιο.
– Μειώνεται η φθορά των κυλίνδρων και των χιτωνίων.

Ο αριθμός των ελατηρίων συμπιέσεως εξαρτάται από το είδος του εμβόλου και από τον τύπο της μηχανής. Στις μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος, κάθε έμβολο διαθέτει 3 - 7 ελατήρια συμπιέσεως.

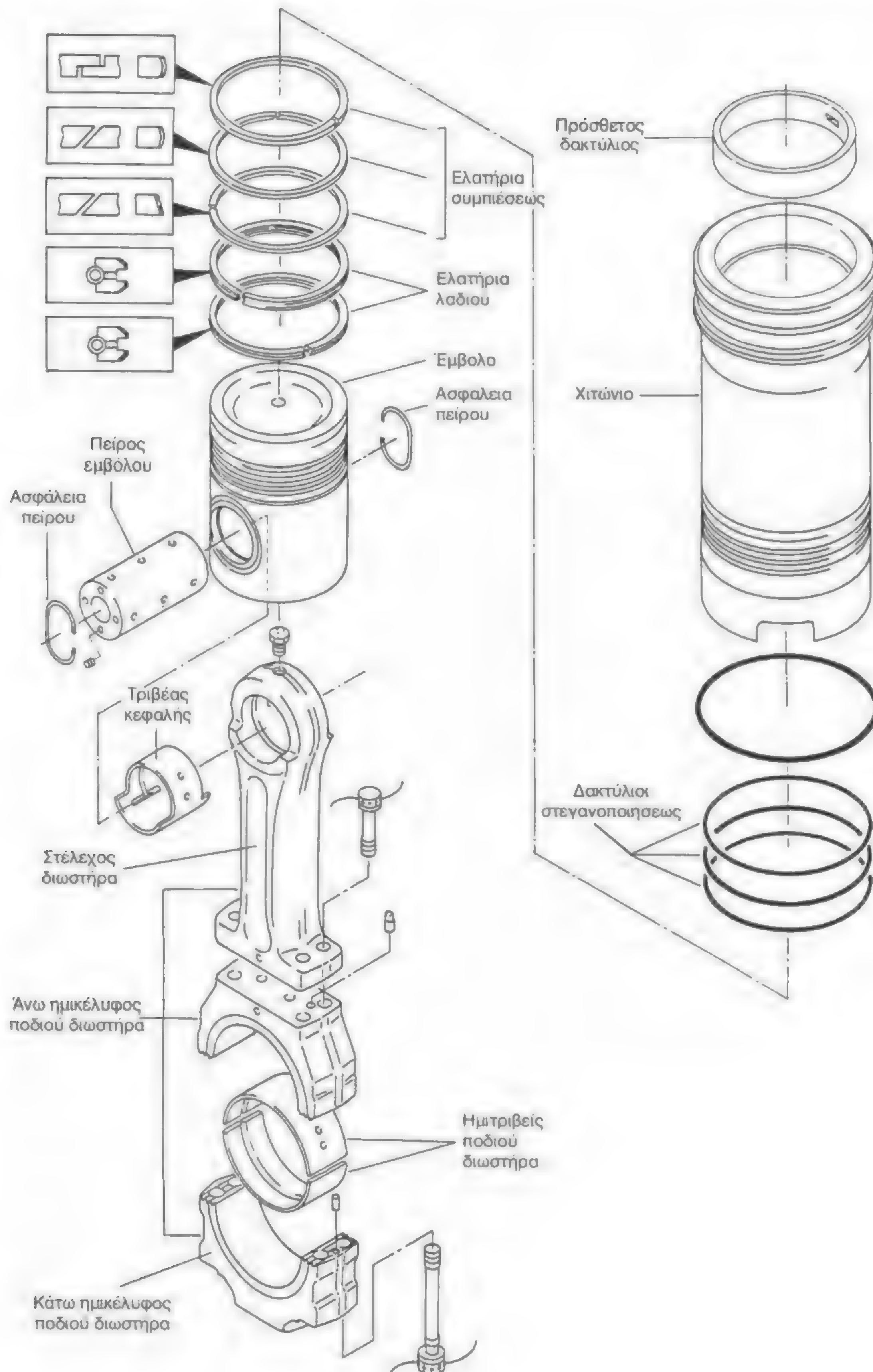
Οι εγκοπές των ελατηρίων μπορεί να είναι είτε απλές διαμήκεις, είτε υπό γωνία, είτε σύνθετες με διαβάθμιση (πατούρα). Στην τρίτη περίπτωση προσφέρουν και την καλύτερη στεγανοποίηση. Οι τελευταίες χρησιμοποιούνται συνήθως στο πρώτο ελατήριο συμπιέσεως (σχ. 5.6ιε, 5.6ιστ και 5.6ιζ).

Κατά την τοποθέτηση των ελατηρίων, πρέπει οι εγκοπές τους να μην βρίσκονται στην ίδια ευθεία, διότι αυξάνονται οι διαφυγές των καυσαερίων και μειώνεται η στεγανότητα. Τοποθετούνται συνήθως ανά 120^{o} ή 180^{o}. Για να μην υπάρχει ο κίνδυνος περιστροφής των ελατηρίων, χρησιμοποιούνται επίσης ειδικές σφήνες που βιδώνουν στα τοιχώματα του εμβόλου και τα συγκρατούν σε σταθερή περιφερειακή θέση. Σε δίχρονες μηχανές, η σφήνωση των ελατηρίων χρησιμοποιείται και για να μην βρεθούν οι εγκοπές των ελατηρίων στην περιοχή των θυρίδων, όπου υπάρχει ο κίνδυνος θραύσεώς τους.

Τα ελατήρια έξω από τον κύλινδρο έχουν εξωτερική διάμετρο μεγαλύτερη της εσωτερικής διαμέτρου του χιτωνίου. Έτσι, κατά την τοποθέτησή τους εντός του κυλίνδρου βρίσκονται υπό συνεχή τάση, λόγω συμπιέσεως. Η τάση αυτή (μαζί με την πίεση των αερίων) εξασφαλίζει τη στεγανοποίηση του κυλίνδρου. Η τάση αυτή όμως, δεν πρέπει να υπερβαίνει συγκεκριμένες τιμές που ορίζονται από τον κατασκευαστή.

Τα ελατήρια συμπιέσεως (ή ελατήρια στεγανότητας), είναι από τα εξαρτήματα της μηχανής που υπόκεινται στη μεγαλύτερη καταπόνηση. Ειδικά στις δίχρονες μηχανές αντιμετωπίζουν υψηλότατες θερμοκρασίες και πιέσεις στην αρχή της φάσεως της καύσεως. Λίγο πριν το ΚΝΣ περνούν από τις θυρίδες σαρώσεως, οπότε ψύχονται, καθώς έρχονται σε επαφή με τον αέρα εισαγωγής. Η ψύξη αυτή είναι ανομοιόμορφη γιατί οι θυρίδες σαρώσεως δεν καλύπτουν όλη την επιφάνεια των ελατηρίων. Λόγω ακριβώς αυτής της ανομοιόμορφης ψύξεως εμφανίζονται μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ισχυρών θερμικών τάσεων.

Η εσωτερική διάμετρος των ελατηρίων είναι με-



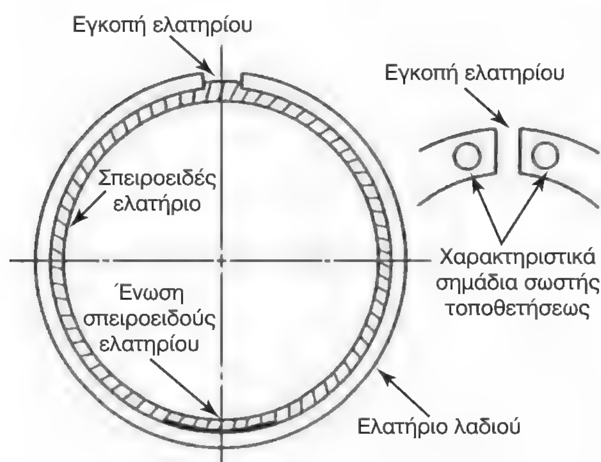
Σχ. 5.6ιε.

Ολοκληρωμένη διάταξη εμβόλου, διωστήρα, χιτωνίου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής. Διακρίνονται οι διατομές και οι εγκοπές των ελατηρίων συμπιέσεως και λαδιού.

γαλύτερη της διαμέτρου των αυλακώσεων όπου τοποθετούνται (για να είναι δυνατή η σύσφιγξή τους και η τοποθέτηση του εμβόλου με τα ελατήρια εντός



Σχ. 5.6ιστ.
Ελατήρια εμβόλου δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής, με εγκοπές διαφορετικής γεωμετρίας. Διακρίνεται η πατούρα στην εγκοπή του πρώτου ελατηρίου, που εξασφαλίζει τη μέγιστη στεγανότητα.



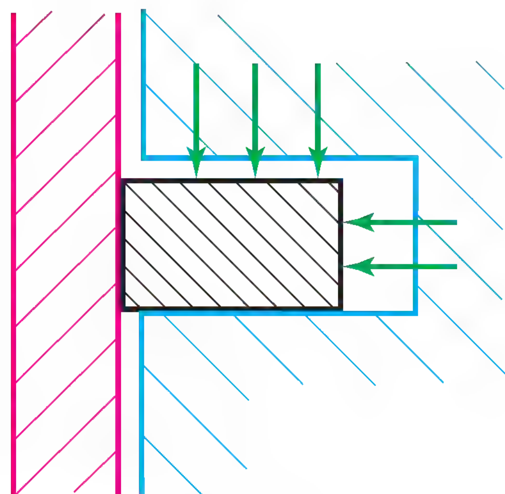


Σχ. 5.6ιζ.
Ελατήρια τετράχρονης πετρελαιομηχανής με διαφορετικές μορφές εγκοπών και διαφορετικές διατομές. Προσέξτε ότι η ένωση του σπειροειδούς ελατηρίου βρίσκεται αντιδιαμετρικά της εγκοπής. Το ελατήριο διαθέτει και σημάδια για τη σωστή τοποθέτηση της άνω πλευράς του.

του χιτωνίου). Επίσης, το πλάτος των ελατηρίων είναι μικρότερο από το άνοιγμα του αντίστοιχου αυλακιού. Κατά τη φάση της εκτονώσεως, τα καυσαέρια ωθούν τα ελατήρια στο κάτω τμήμα του αυλακιού, οπότε υπάρχει δίοδος έτσι ώστε τα καυσαέρια να εισέλθουν στην εσωτερική κοιλότητα του αυλακιού μεταξύ ελατηρίου και εμβόλου. Η υψηλή πίεση των καυσαερίων εφαρμόζεται κατ' αυτόν τον τρόπο στο εσωτερικό των ελατηρίων, με αποτέλεσμα να προκαλεί τη διαστολή τους, και να βελτιώνεται έτσι η στεγανοποιητική τους δράση (σχ. 5.6ιη). Η εσωτερική όμως αυτή πίεση αυξάνει τη μηχανική καταπόνηση των ελατηρίων, ενώ παράλληλα αυξάνει και την τριβή μεταξύ των ελατηρίων και του χιτωνίου.

β) Ελατήρια λαδιού.

Σκοπός των ελατηρίων λαδιού είναι η συνεχής και ομοιόμορφη λίπανση των τριβομένων επιφανειών μεταξύ ελατηρίων και χιτωνίου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία μεμβράνης (φιλμ) λιπαντικού μέσου μεταξύ τους, συγκεκριμένου πάχους και ομοιόμορφα διανεμημένης περιφερειακά στο χιτώνιο. Η δημιουργία μεμβράνης μικρού πάχους μειώνει τη λιπαντική ικανότητα και αυξάνει τον κίνδυνο ξηρής τριβής μεταξύ ελατηρίων και χιτωνίου. Όμως και στην περίπτωση λιπαντικής μεμβράνης αυξημένου πάχους δημιουργούνται προβλήματα. Η περίσσεια λαδιού αυξάνει την κατανάλωση λιπαντικού αλλά και τον κίνδυνο δημιουργίας εξανθρακωμάτων λαδιού στους αύλακες των ελατηρίων, που επιταχύνουν τη φθορά των ελατηρίων και του χιτωνίου. Προκαλεί επίσης κόλλημα των ελατηρίων.



Σχ. 5.6ιη.
Ο μηχανισμός λειτουργίας των ελατηρίων συμπιέσεως με τη δράση της πιέσεως των καυσαερίων.

Τοποθετούνται συνήθως 2 - 3 ελατήρια λαδιού στο κατώτερο τμήμα του εμβόλου ή αμέσως μετά από τα ελατήρια συμπιέσεως. Η διατομή τους συνήθως έχει μορφή όνυχα (σχ. 5.6ιζ). Κατά την κίνησή τους προς το ΑΝΣ, η άνω κεκλιμένη επιφάνειά τους στρώνει τη μεμβράνη του λιπαντικού. Εμπρός από την κεκλιμένη τους επιφάνεια δημιουργείται σφήνα λαδιού, που συμπιέζει το ελατήριο και ρυθμίζει το πάχος της μεμβράνης. Κατά την κίνηση του ελατηρίου προς το ΚΝΣ δεν σχηματίζεται σφήνα λαδιού (λόγω του όνυχα) οπότε το ελατήριο δεν συμπιέζεται και το λάδι αποξύνεται από τα τοιχώματα του χιτωνίου. Εάν κατά λάθος τα ελατήρια τοποθετηθούν με τους όνυχες προς τα επάνω, τότε αυξάνεται η κατανάλωση του λαδιού, επειδή αυτό ωθείται προς την περιοχή των ελατηρίων συμπιέσεως κατά την άνοδο του εμβόλου.

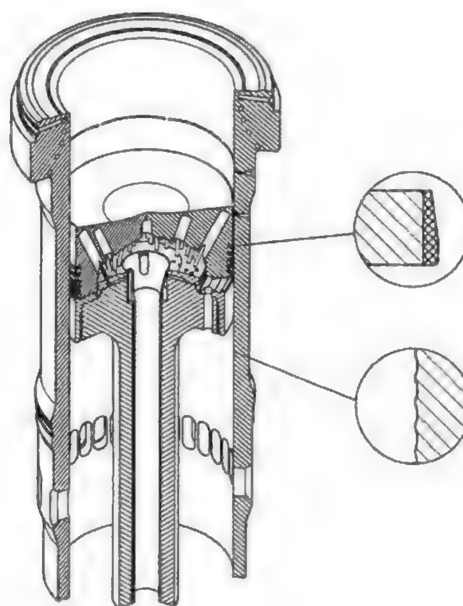
Καθώς δεν επενεργεί η πίεση των καυσαερίων στα ελατήρια λαδιού, η ρύθμιση του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης επιτυγχάνεται μόνο εξαιτίας της δικής τους τάσεως. Για να αυξηθεί αυτή η τάση, χρησιμοποιούνται συχνά ελατήρια λαδιού με ειδικά εσωτερικά (συνήθως σπειροειδή) ελατήρια εντάσεως (σχ. 5.6ιε και 5.6ιζ). Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να κατασκευασθούν λεπτότερα ελατήρια, άρα με μεγαλύτερη ελαστικότητα, που προσαρμόζονται ευκολότερα στις εσωτερικές καμπυλότητες των φθαρμένων χιτωνίων.

Οι δίχρονες πετρελαιομηχανές με βάκτρο και ζύγωμα δεν φέρουν συνήθως διαφορετικά ελατήρια λαδιού. Τη λειτουργία των ελατηρίων λαδιού εκτελούν τα ελατήρια συμπιέσεως.

γ) Κατασκευή των ελατηρίων.

Τα ελατήρια έχουν δακτυλιοειδές σχήμα, μη ολοκληρωμένου κύκλου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτησή τους στις εγκοπές του εμβόλου και να παραλαμβάνονται οι θερμικές διαστολές. Η εσωτερική διάμετρος των ελατηρίων είναι μικρότερη της εξωτερικής διαμέτρου του εμβόλου, αλλά μεγαλύτερη της διαμέτρου των αυλακώσεων. Η εξωτερική τους διάμετρος είναι μεγαλύτερη της εσωτερικής διαμέτρου του κυλίνδρου. Έτσι, για την τοποθέτησή τους στο έμβολο είναι απαραίτητη η διαστολή τους, ενώ για την τοποθέτησή τους μαζί με το έμβολο εντός του κυλίνδρου είναι απαραίτητη η σύσφιγξή τους. Το τμήμα που απουσιάζει από το ελατήριο (στην εγκοπή του) πρέπει να παραλαμβάνει τη σύσφιγξη αυτή, καθώς και τις θερμικές διαστολές.

Τα ελατήρια κατασκευάζονται με χύτευση από κράματα φαιού χυτοσιδήρου (με φυλλοειδή ή σφαιροειδή γραφίτη) με προσθήκη χρωμίου, νικελίου, μαγγανίου, βαναδίου, μολυβδαινίου και τιτανίου για την αύξηση της αντοχής και της αντιστάσεώς τους σε φθορά (ή κατασκευάζονται από κραματωμένο χάλυβα, σε ειδικές περιπτώσεις πολύ υψηλών καταπονήσεων). Η κατασκευή τους γίνεται συνήθως με φυγοκεντρική χύτευση, για την επίτευξη λεπτόκοκκης δομής και άρα υψηλής αντοχής, ενώ ακολουθεί τόρνευση μέχρι τις τελικές διαστάσεις. Η χύτευση μπορεί να γίνεται ξεχωριστά για κάθε ελατήριο, ή να γίνεται χύτευση σωλήνα, από τον οποίο στη συνέχεια κόβονται τα ελατήρια. Συχνά, ακολουθεί επιφανειακή κατεργασία σκληρύνσεως με επικάλυψη νικελίου ή μολυβδαινίου για την αύξηση της αντοχής τους στην τριβή (σχ. 5.6ιθ). Η επικάλυψη των ελατηρίων μπορεί να γίνεται και με τη χρήση πλάσματος, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό, πλήρως ελεγχόμενο και ομοιόμορφα κατανεμημένο πάχος επικαλύψεως, μεγάλης αντοχής στη θερμοκρασία και τη φθορά. Η επικάλυψη μπορεί να γίνεται με τη χρήση νικελίου ως υποστρώματος, εντός του οποίου συγκρατείται κεραμικό υλικό. Το κεραμικό υλικό προσδίδει μεγάλη αντοχή στην υψηλή θερμοκρασία και μειώνει τη φθο-



Σχ. 5.6ιθ.
Χιτώνιο και έμβολο αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής. Το πρώτο ελατήριο (σε κύκλο η διατομή του) φέρει επικάλυψη από χρώμιο, για την αύξηση της αντοχής του. Στον κατώτερο κύκλο διακρίνεται η κυματοειδής μορφή της επιφάνειας του χιτωνίου μετά τη λείανση.

ρά του ελατηρίου (σχ. 5.6κ). Οι επικαλύψεις του τύπου αυτού εφαρμόζονται συνήθως στο πρώτο ελατήριο συμπιέσεως των διχρόνων μηχανών το οποίο καταπονείται πολύ περισσότερο. Μπορούν να εφαρμοσθούν όμως σε όλα τα ελατήρια (ακόμη και λαδιού), ειδικά σε τετράχρονες μηχανές (σχ. 5.6κα). Σ' αυτήν την περίπτωση απαιτείται ιδιαίτερα καλή λείανση της εσωτερικής επιφάνειας του χιτωνίου, γιατί η παρουσία υψηλής τραχύτητας καταστρέφει τις επικαλύψεις. Με τις μεθόδους αυτές αυξήθηκε ιδιαίτερα ο χρόνος αντικαταστάσεως των ελατηρίων, που μπορεί να φτάνει και τις 15.000 ώρες, που αντιστοιχεί περίπου σε δύο χρόνια λειτουργίας.

Για το αρχικό στρώσιμο των χιτωνίων, τα ελατήρια είναι δυνατόν να φέρουν ειδικούς δακτυλίους από ορείχαλκο. Το υλικό αυτό φθείρεται κατά τη διάρκεια των πρώτων ωρών λειτουργίας (ή μπορεί να χρησιμοποιούνται ειδικά ελατήρια στρωσίματος). Οι υποδοχές (αυλάκια) των ελατηρίων στα έμβολα συχνά επιχρωμιώνονται, για να αυξάνεται η αντοχή τους και να μειώνονται οι φθορές του εμβόλου.



Σχ. 5.6κ.
Επιφανειακή επικάλυψη του πρώτου ελατηρίου συμπιέσεως με κεραμικό υλικό σε υπόστρωμα χρωμίου.



Σχ. 5.6κα.
Ελατήρια τετράχρονης μηχανής (συμπιέσεως και λαδιού) με εξωτερική επικάλυψη χρωμίου.

δ) Φθορά των ελατηρίων.

Η φθορά των ελατηρίων και ειδικά του πρώτου, το οποίο και καταπονείται περισσότερο, καθορίζει το χρονικό διάστημα μέχρι τη γενική επισκευή στο συγκρότημα του θαλάμου καύσεως. Για τη μείωση συνεπώς του κόστους επισκευών είναι ουσιώδης παράμετρος η αύξηση του χρόνου μεταξύ της συντηρήσεως και της αντικαταστάσεως των ελατηρίων. Η φθορά των ελατηρίων μειώνεται καθώς κινούμασθε από το πρώτο (το ανώτερο) προς τα επόμενα, λόγω της μειώσεως της θερμικής καταπονήσεως αλλά και της καταπονήσεως από την πίεση των καυσαερίων.

Στα σημεία όπου εμφανίζεται τοπικά μειωμένη λίπανση μεταξύ ελατηρίου και χιτωνίου, υπάρχει η περίπτωση μικροσκοπικά εξογκώματα του χιτωνίου ή του ελατηρίου να έρθουν σε επαφή με την απέναντι επιφάνεια, δημιουργώντας στιγμιαίες αποξέσεις υλικού (φθορά μικροτριβής). Το πρόβλημα επιτείνεται, επειδή αυξάνεται η τραχύτητα των επιφανειών, οπότε και ο κίνδυνος επαφής. Η φθορά μικροτριβής εξαρτάται από τη μέγιστη πίεση του κύκλου, το είδος της εσωτερικής κατεργασίας του χιτωνίου και της τραχύτητας που επιτυγχάνεται, τη μέση ταχύτητα του εμβόλου και φυσικά το είδος και τη σύσταση του λιπαντικού.

Εκτός της μικροτριβής, η φθορά των ελατηρίων οφείλεται και στις ακόλουθες αιτίες:

– Σε επικαθίσεις εξανθρακωμάτων στις υποδοχές των ελατηρίων.
– Σε κόλλημα των ελατηρίων από εξανθρακώματα, που σχηματίζονται, όταν η θερμοκρασία στην περιοχή τους ξεπεράσει τους 180° - 200° C.
– Σε κακή λίπανση, που οφείλεται σε μικρή ποσότητα, κακή ποιότητα ή καμένο λάδι (λόγω διαρροής καυσαερίων).
– Σε μικρές ανοχές μεταξύ των ελατηρίων και των αυλάκων τους.
– Σε αύξηση της πλευρικής ανοχής, οπότε τα καυσαέρια περνώντας πίσω από τα ελατήρια, αυξάνουν υπερβολικά την πίεση και την τριβή.
– Σε ύπαρξη διαβαθμίσεων στις θυρίδες ή στα χιτώνια, με αποτέλεσμα, κατά την παλινδρόμηση του εμβόλου, τα ελατήρια να κτυπάνε σε αυτές και να καταστρέφονται.

Τα ελατήρια πρέπει να αντικαθίστανται, όταν έχει μειωθεί το πάχος τους λόγω φθοράς κατά 15% (η διαφορά μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής ακτίνας). Στην περίπτωση αυξημένης φθοράς, δεν υπάρχει αρκετή στήριξη από τα τοιχώματα του αυλακιού, οπότε υπάρχει αυξημένος κίνδυνος στρεβλώσεώς

τους. Επίσης, λόγω της μειώσεως της διατομής τους μειώνεται και η αντοχή τους, οπότε αυξάνεται ο κίνδυνος θραύσεως. Η θραύση των ελατηρίων οφείλεται κυρίως σε διάδοση των ρωγμών λόγω κοπώσεως, ως αποτέλεσμα της δυναμικής καταπονήσεως των ελατηρίων (περιοδική μεταβολή των θερμικών τάσεων και των μηχανικών καταπονήσεων). Η επιφανειακή φθορά των ελατηρίων στην επιφάνεια επαφής με το χιτώνιο επιτείνει τον κίνδυνο καταστροφής από κόπωση, λόγω της δημιουργίας μικρορωγμών.

Η μείωση της διατομής των ελατηρίων (λόγω υπερβολικής και ανομοιόμορφης φθοράς) μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την κατάρρευση του ελατηρίου στον πυθμένα του αυλακιού (ring collapse). Η ανομοιόμορφη τοπική φθορά των ελατηρίων επιτρέπει στα καυσαέρια να εξασκήσουν εξωτερικές θλιπτικές πιέσεις, πριν αυτά προλάβουν να εισέλθουν στο εσωτερικό των αυλακιών και εξισορροπήσουν τις εξωτερικές πιέσεις. Η διαφυγή των καυσαερίων εξωτερικά των ελατηρίων, λόγω της τοπικής φθοράς τους, επιτείνει το πρόβλημα, διότι λόγω της υψηλής θερμοκρασίας τους, μειώνεται η ελαστικότητα των ελατηρίων και συνεπώς και η τάση τους να διαστέλλονται και να έρχονται σε επαφή με το χιτώνιο.

Με τη συσσώρευση υπολειμμάτων καύσεως στον ελεύθερο χώρο μεταξύ του ελατηρίου και του πυθμένα του αυλακιού η στεγανοποιητική δράση του ελατηρίου μειώνεται, ενώ αυξάνεται ο ρυθμός φθοράς του. Η συσσώρευση αυτή των υπολειμμάτων μπορεί να προκαλέσει κόλλημα ελατηρίου στα τοιχώματα του αυλακιού. Το κόλλημα του ελατηρίου και η συσσώρευση υπολειμμάτων καύσεως και εξανθρακωμάτων λιπαντικού ευνοούνται από την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην περιοχή του πρώτου ελατηρίου.

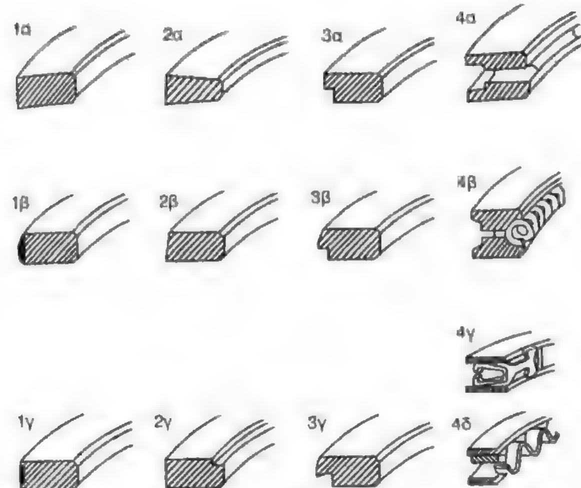
ε) Τύποι ελατηρίων.

Εκτός από τις δύο κύριες κατηγορίες ελατηρίων (συμπιέσεως-λαδιού) υπάρχουν και οι ακόλουθοι τύποι ελατηρίων (σχ. 5.6κβ και 5.6κγ):

- Ελατήρια για φθαρμένους κυλίνδρους (εξπάντερ). Τα ελατήρια αυτά φέρουν στο εσωτερικό τους ένα πολυγωνικό έλασμα, για να προσαρμόζονται καλύτερα στην επιφάνεια του χιτωνίου. Χρησιμοποιούνται όταν ο κύλινδρος έχει μικρές σχετικά φθορές και δεν κρίνεται ακόμη απαραίτητη η επισκευή του με εσωτερική λείανση (ρεκτιφιέ).
- Ελατήρια με κλίση της εξωτερικής επιφάνειας. Χρησιμοποιούνται συνήθως ως δεύτερα ελατήρια συμπιέσεως. Η μορφή αυτή δίνει μεγαλύτερη πίεση επαφής στο κάτω άκρο, και το ελατήριο λειτουργεί ως ελατήριο αποξέσεως λαδιού.



Σχ. 5.6κβ.
Διαφορετικοί τύποι ελατηρίων.



Σχ. 5.6κγ.
Διαφορετικές μορφές ελατηρίων: (1α) Τυπικό συμπιέσεως. (1β) Με επικάλυψη χρωμίου. (1γ) Με δακτύλιο μολύβδου. (2α) Τραπεζοειδούς διατομής με εσωτερική στρογγύλευση. (2β) Ορθογωνικής διατομής με εσωτερική στρογγύλευση. (2γ) Με εσωτερική πατούρα. (3α) Με εξωτερική πατούρα. (3β) Με εξωτερική πατούρα και κλίση. (3γ) Με εξωτερικό όνυχα. (4α) Κοινό ελατήριο λαδιού. (4β) Ελατήριο λαδιού με εσωτερικό σπειροειδές ελατήριο. (4γ, 4δ) Ελατήρια λαδιού με εσωτερικά ελάσματα.

– Σφηνοειδή ελατήρια. Η διατομή τους έχει μορφή ισοσκελούς τραπεζίου. Είναι κατάλληλα για κινητήρες με υψηλή συμπίεση και τοποθετούνται ως δεύτερα ελατήρια.
– Επιχρωμιωμένα ελατήρια. Στην επιφάνεια επαφής του ελατηρίου με τον κύλινδρο, υπάρχει ένα λεπτό στρώμα χρωμίου με στρογγυλεμένα άκρα. Τα ελατήρια αυτά έχουν μεγάλη αντοχή, μικρότερες τριβές και προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στον κύλινδρο. Η επιχρωμίωση χρησιμοποιείται συνήθως στο πρώτο ελατήριο συμπιέσεως των αργοστρόφων μηχανών. Αντίθετα, στις μεσόστροφες μηχανές συναντάται ακόμη και στα ελατήρια λαδιού.

στ) Ανοχές (διάκενα) ελατηρίων.

Τα ελατήρια επειδή κατά τη λειτουργία τους διαστέλλονται, πρέπει να διαθέτουν (σε θερμοκρασία περιβάλλοντος) κάποιες ανοχές (ελευθερίες, διάκενα), οι οποίες διακρίνονται σε αξονικές και περιφερειακές (σχ. 5.6κδ).

1) Πλευρική ή αξονική ανοχή (axial clearance).

Πλευρική (ή αξονική) ονομάζεται η ανοχή μεταξύ της άνω όψεως του ελατηρίου και της αντίστοιχης επιφάνειας του αυλακιού του ελατηρίου.

Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές η πλευρική ανοχή κυμαίνεται στο επάνω ελατήριο μεταξύ 0,0005 x D και 0,0007 x D, ενώ στο κάτω ελατήριο είναι της τάξεως του 0,0003 x D (εδώ, η διαστολή είναι μικρότερη λόγω των μικροτέρων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται).

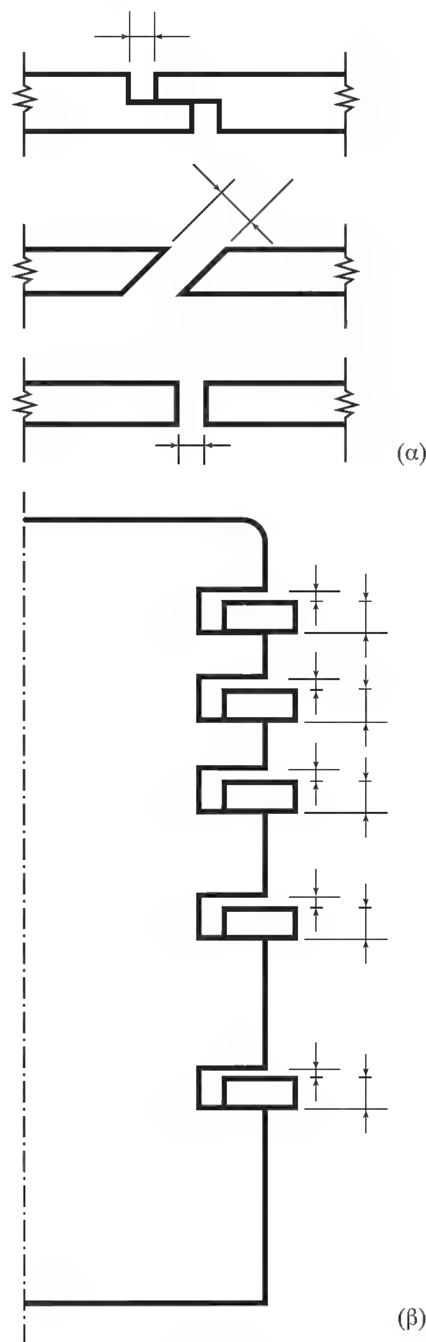
Στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές κυμαίνεται μεταξύ 0,0003 x D και 0,0004 x D (όπου D η διάμετρος του κυλίνδρου).

2) Περιφερειακή ανοχή (gap clearance).

Η περιφερειακή ανοχή αναφέρεται στο περιφερειακό διάκενο στο σημείο τομής των ελατηρίων. Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές, στο άνω ελατήριο η περιφερειακή ανοχή κυμαίνεται μεταξύ 0,006 x D και 0,008 x D, και στο κάτω ελατήριο μεταξύ 0,005 x D και 0,006 x D. Στις τετράχρονες μηχανές κυμαίνεται μεταξύ 0,0045 x D και 0,0065 x D.

Είναι φανερό ότι οι ανοχές στα άνω ελατήρια και στις δίχρονες πετρελαιομηχανές είναι μεγαλύτερες, λόγω των υψηλοτέρων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται.

Τα όρια μεταβολής των ανοχών για την αντικατάσταση των ελατηρίων αναφέρονται στα εγχειρίδια των κατασκευαστών. Η αντικατάσταση των ελατηρίων γίνεται συνήθως στις 6.000 - 12.000 ώρες, όταν η μηχανή λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο, και σε 8.000 - 14.000 ώρες, όταν η μηχανή λειτουργεί με πετρέλαιο Diesel, αν και με τη χρησιμοποίηση επιχρωμιωμένων ελατηρίων συμπιέσεως, το όριο για την αντικατάσταση των ελατηρίων έχει υπερβεί πλέον τις 15.000 ώρες λειτουργίας.



Σχ. 5.6κδ.
Θέσεις μετρήσεως περιφερειακών (α) και αξονικών (β) ανοχών ελατηρίων.

ζ) Αφαίρεση – Επανατοποθέτηση ελατηρίων.

Όταν αφαιρεθεί το έμβολο από τον κύλινδρο για να γίνει ο έλεγχος και ο καθαρισμός του από τα εξανθρακώματα, αφαιρούνται και τα ελατήρια για να ελεγχθούν και να καθαρισθούν και αυτά, καθώς και οι αντίστοιχοι αύλακες στο έμβολο. Η αφαίρεση και η επανατοποθέτηση των ελατηρίων γίνεται με ειδικό εργαλείο (εξωλκέας ελατηρίων - «τσιμπίδα»), γιατί υπάρχει περίπτωση αυτά να παραμορφωθούν ή να σπάσουν, εάν η αφαίρεση γίνει με τη χρήση ακαταλλήλων εργαλείων.

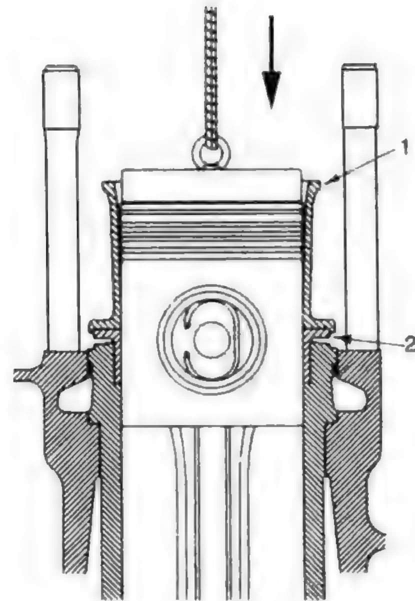
Κατά την αποσυναρμολόγηση, αφαιρούνται πρώτα τα ελατήρια συμπιέσεως με τη σειρά από επάνω προς τα κάτω και στη συνέχεια τα ελατήρια λαδιού. Κατά την επανατοποθέτηση, χρησιμοποιείται πάλι ο ειδικός εξωλκέας, ενώ αντιθέτως τοποθετούνται πρώτα τα ελατήρια λαδιού και στη συνέχεια αυτά της συμπιέσεως. Προσοχή πρέπει να δοθεί έτσι ώστε τα ελατήρια ανάλογα με τον τύπο τους να τοποθετηθούν στους σωστούς αύλακες. Επίσης, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε να τοποθετηθούν με τη σωστή πλευρά τους προς τα άνω. Για το λόγο αυτό, πολλοί τύποι ελατηρίων φέρουν στην άνω πλευρά τους χαρακτηριστικά σημάδια ή επιγραφές.

Οι υποδοχές (αυλάκια) των ελατηρίων πρέπει να καθαρίζονται καλά από τις επικαθίσεις εξανθρακωμάτων με ειδικό εργαλείο καθαρισμού (αποξέσεως). Ο καθαρισμός των υποδοχών με σπασμένα ελατήρια πρέπει να αποφεύγεται, γιατί τραυματίζει το έμβολο (καταστρέφεται η επικάλυψη χρωμίου στους αύλακες των ελατηρίων).

Πριν επανατοποθετηθούν τα ελατήρια, πρέπει να μετρηθεί το πάχος του ελατηρίου (διαφορά εξωτερικής και εσωτερικής ακτίνας), ώστε να βρίσκεται εντός της προδιαγραφόμενης τιμής. Μια άλλη μέθοδος προσδιορισμού της φθοράς, που συχνά εφαρμόζεται στην πράξη, είναι η μέτρηση με φίλλερ του περιφερειακού διακένου του ελατηρίου, όταν αυτό τοποθετηθεί εντός του άδειου κυλίνδρου.

Στη συνέχεια, μετά την τοποθέτηση του ελατηρίου στον αντίστοιχο αύλακα, με τη βοήθεια ενός φίλλερ μετράται το διάκενο μεταξύ του ελατηρίου και του τοιχώματος του αύλακα (πλευρικό διάκενο). Το διάκενο αυτό ορίζεται από τους κατασκευαστές.

Καλό θα είναι να γίνει ένας τελικός έλεγχος εφαρμογής του ελατηρίου σε όλο το μήκος του αύλακα, μήπως σε κάποιο σημείο υπάρχουν ακόμα εξανθρακώματα και το ελατήριο δεν εφαρμόζει σωστά στη θέση του.



Σχ. 5.6κε.
Τοποθέτηση εμβόλου εντός του χιτωνίου με τη χρήση ειδικού κωνικού εξαρτήματος προοδευτικής συμπιέσεως των ελατηρίων (1). Προσαρμόζεται στη θέση του πρόσθετου δακτυλίου της κορυφής του χιτωνίου (2).

Η επανατοποθέτηση του εμβόλου εντός του κυλίνδρου πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικού κωνικού εξαρτήματος (σφιγκτήρας ελατηρίων εμβόλου), το οποίο προσαρμόζεται στην κορυφή του κενού χιτωνίου. Εντός του ολισθαίνει το έμβολο και λόγω της κωνικότητας συμπιέζονται τα ελατήρια και εισέρχεται ομαλά το έμβολο εντός του κυλίνδρου, ενώ ταυτόχρονα λιπαίνονται (με το λαδικό) συνεχώς οι επιφάνειες επαφής (σχ. 5.6κε).

5.7 Διωστήρας (connecting rod).

Ο διωστήρας μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο άξονα. Συνδέεται είτε άμεσα με το έμβολο μέσω του πείρου του εμβόλου, είτε με το βάκτρο, στο ζύγωμα, μέσω του αντίστοιχου κομβίου. Αποτελείται, όπως ήδη έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, από την κεφαλή, το στέλεχος και το πόδι.

5.7.1 Κατασκευή διωστήρα.

Ο διωστήρας κατασκευάζεται από κραματωμένο χάλυβα με σφυρηλάτηση, ενώ ακολουθεί κατεργασία κοπής μέχρι τις τελικές διαστάσεις και εσωτερική λείανση των εδράνων στην κεφαλή και το πόδι.

Στις αργόστροφες πετρελαιομηχανές, το πόδι του διωστήρα αποτελείται από δύο τμήματα, ανεξάρτη-

τα του στελέχους. Τα δύο αυτά τμήματα αποτελούν τα δύο ημικελύφη του εδράνου, όπου ολισθαίνει το αντίστοιχο κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα. Το ανώτερο από τα ημικελύφη συνδέεται με τη βοήθεια κοχλιών με το στέλεχος του διωστήρα. Οι κοχλίες συσφίγγονται με εφαρμογή προεντάσεως, με τη χρήση υδραυλικών σφικτήρων. Η κατασκευή αυτή προσφέρει και τη δυνατότητα αλλαγής του βαθμού συμπιέσεως του κινητήρα, με την παρεμβολή μεταλλικών προσθηκών μεταξύ του άνω ημικελύφους του ποδιού και του στελέχους του διωστήρα. Μεταλλικές προσθήκες μπορούν να τοποθετηθούν και μεταξύ των δύο ημικελύφων, έτσι ώστε να ρυθμίζεται το διάκενο των τριβέων κατά το στρώσιμο της μηχανής.

Η κατασκευή αυτή με ανεξάρτητα αφαιρούμενα ημικελύφη χρησιμοποιείται και σε μεσόστροφες πετρελαιομηχανές (σχ. 5.7α), επιτρέποντας την εξαγωγή της κεφαλής και του στελέχους του διωστήρα μαζί



Σχ. 5.7α.
Διωστήρας μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής, με ανεξάρτητο πόδι, το άνω τμήμα του οποίου ενώνεται με το στέλεχος με δύο ζεύγη κοχλιών. Η διατομή του στελέχους είναι κυκλική.

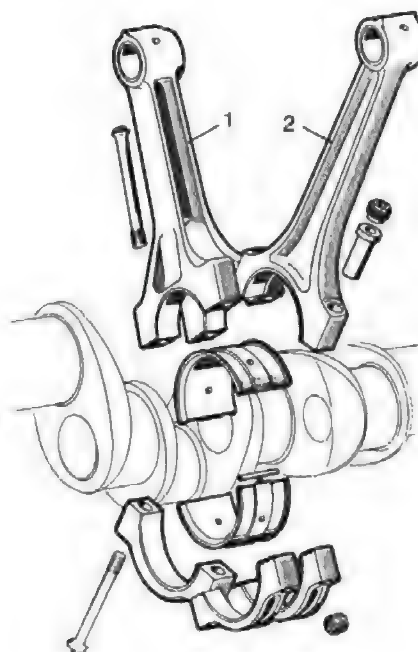


Σχ. 5.7β.
Διωστήρας μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής, με πλάγια ένωση των δύο τμημάτων του ποδιού. Η διατομή του στελέχους είναι διπλού Τ.

με το έμβολο από το άνω τμήμα της μηχανής, μέσα από το χιτώνιο (το πόδι δεν μπορεί να εξέλθει προς τα πάνω επειδή έχει γενικά μεγαλύτερη διάμετρο από την εσωτερική διάμετρο του χιτωνίου). Άλλη κατασκευή που χρησιμοποιείται για το πόδι του διωστήρα, είναι η διαγώνια σύνδεση των δύο τμημάτων (σχ. 5.7β). Η τομή φέρει και οδόντωση για την παραλαβή των διατμητικών δυνάμεων, τη μη υπερβολική καταπόνηση των κοχλιών συνδέσεως και για την ευκολότερη συναρμολόγηση των αντιστοίχων τμημάτων. Το ένα από τα δύο ημικελύφη αποτελεί ενιαίο τμήμα με το στέλεχος του διωστήρα.

Στην περίπτωση μεσοστρόφων πετρελαιοκινητήρων τύπου V χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές μορφές για το πόδι του διωστήρα. Στην περίπτωση που οι απέναντι κύλινδροι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, ο ένας εκ των δύο διωστήρων κατασκευάζεται με διχαλωτό πόδι, στη διχάλα του οποίου προσαρμόζεται το πόδι του αντικριστού διωστήρα (σχ. 5.7γ).

Στην περίπτωση που οι απέναντι κύλινδροι δεν βρίσκονται στο ίδιο ακριβώς επίπεδο, τότε οι δύο διωστήρες είναι όμοιοι και τοποθετούνται συνεχόμενα, στο ίδιο κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα, το οποίο όμως πρέπει να έχει μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με την περίπτωση των διχαλωτών διωστήρων. Η κατασκευή αυτή έχει το μειονέκτημα του μεγαλύτε-



Σχ. 5.7γ.
Σύνδεση ανεξαρτήτων διωστήρων τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα τύπου V σε κοινό κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα. Ο ένας (1) εκ των δύο είναι διχαλωτός για να υποδέχεται τον δεύτερο (2).

ρου τελικού μήκους στροφαλοφόρου (και μηχανής), αλλά η προσπέλαση και η αφαίρεση των διωστήρων και των αντιστοίχων τριβέων είναι ευκολότερη, οδηγώντας σε μικρότερο χρόνο και κόστος επισκευών.

Μία τρίτη διάταξη που χρησιμοποιείται είναι η σύνδεση του δευτέρου διωστήρα σε ανεξάρτητο κομβίο πάνω στο πόδι του πρώτου διωστήρα (σχ. 5.7δ), από το οποίο παίρνει κίνηση (και όχι από το κομβίο του στροφάλου). Και με αυτή τη διάταξη είναι δυνατή η τοποθέτηση των κυλίνδρων του κινητήρα V ανά δύο στο ίδιο ακριβώς επίπεδο.

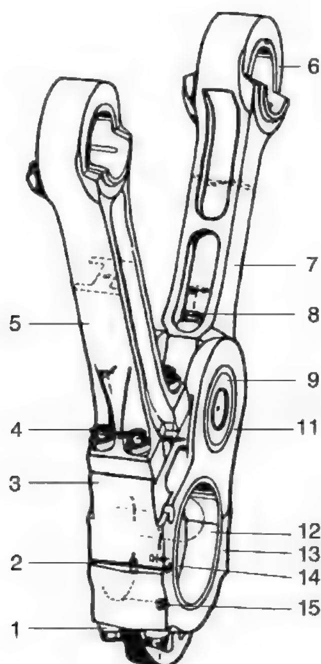
Η κεφαλή του διωστήρα στις αργόστροφες μηχανές είναι διχαλωτή, για να μπορεί να γίνει η σύνδεση με το βάκτρο στο ζύγωμα (σχ. 5.7ε). Έτσι χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά διαιρούμενα έδρανα ζυγώματος (τέσσερα ημικελύφη), τα οποία συνδέονται με κοχλίες ανά δύο μεταξύ τους και με το στέλεχος του διωστήρα. Τα κατώτερα ημικελύφη μπορεί να αποτελούν ενιαίο τμήμα, με το στέλεχος του διωστήρα (σχ. 5.7ε), ή κοινό τμήμα που συνδέεται στο στέλεχος με κοχλίες (σχ. 5.7στ).

Στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές η κεφαλή του διωστήρα αποτελεί συνήθως ενιαίο τμήμα με το στέλεχος του διωστήρα. Μπορεί όμως να κατασκευάζεται σε ανεξάρτητο τμήμα, το οποίο συνδέεται με κοχλίες στο στέλεχος. Στην περίπτωση αυτή διευκολύνεται η εξαγωγή του εμβόλου προς τα άνω (μαζί με την κεφαλή του διωστήρα).

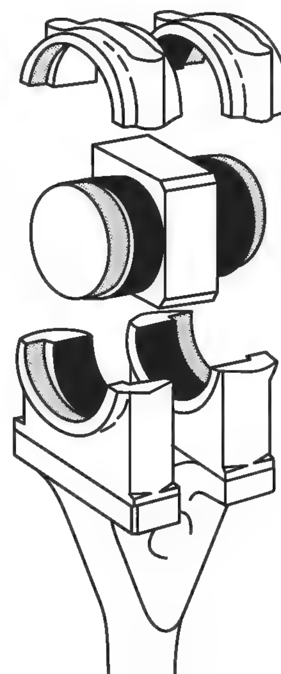
Το στέλεχος του διωστήρα στις μεσόστροφες μηχανές έχει συνήθως διατομή διπλού Τ (Η), ή κυκλική, ενώ στις αργόστροφες μηχανές η διατομή του είναι συνήθως κυκλική ή ελλειπτική.

5.7.2 Καταπόνηση διωστήρων.

Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές η καταπόνηση του διωστήρα από την επίδραση των πιέσεων είναι σε θλίψη και λυγισμό, χωρίς αντιστροφή του προσήμου των τάσεων (κατά τον ένα χρόνο εμφανίζονται δυνάμεις θλιπτικές λόγω εκτονώσεως των αερίων και κατά το δεύτερο πάλι θλιπτικές δυνάμεις, λόγω συμπιέσεως του αέρα). Στις δυνάμεις λόγω των αερίων πρέπει να προστεθούν οι αδρανειακές δυνάμεις από την κίνηση των μαζών, οι οποίες αντιστρέφουν τη φορά. Επειδή όμως αυτές είναι εφελκυστικές στο ΑΝΣ, όπου έχομε τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις (οι οποίες είναι μεγαλύτερες), η συνολική μορφή του διαγράμματος των τάσεων σε έναν κύκλο λειτουργίας δίνει συνεχώς θλιπτικές τάσεις (μεταβαλλόμενες όμως σε μέτρο).



Σχ. 5.7δ.
Διωστήρες τετράχρονης πετρελαιομηχανής τύπου V, με διατομή στελέχους διπλού Τ. Ο δεύτερος διωστήρας (7) δεν παίρνει κίνηση άμεσα από το στρόφαλο, αλλά συνδέεται σε ανεξάρτητο κομβίο (9) στα πλάγια του πρώτου διωστήρα (5).



Σχ. 5.7ε.
Διαμόρφωση διωστήρα δίχρονης πετρελαιομηχανής στο σημείο συνδέσεως με το κομβίο του ζυγώματος. Το συγκεκριμένο κομβίο φέρει έκκεντρη διαμόρφωση για τη βελτίωση των συνθηκών λιπάνσεως του κομβίου.

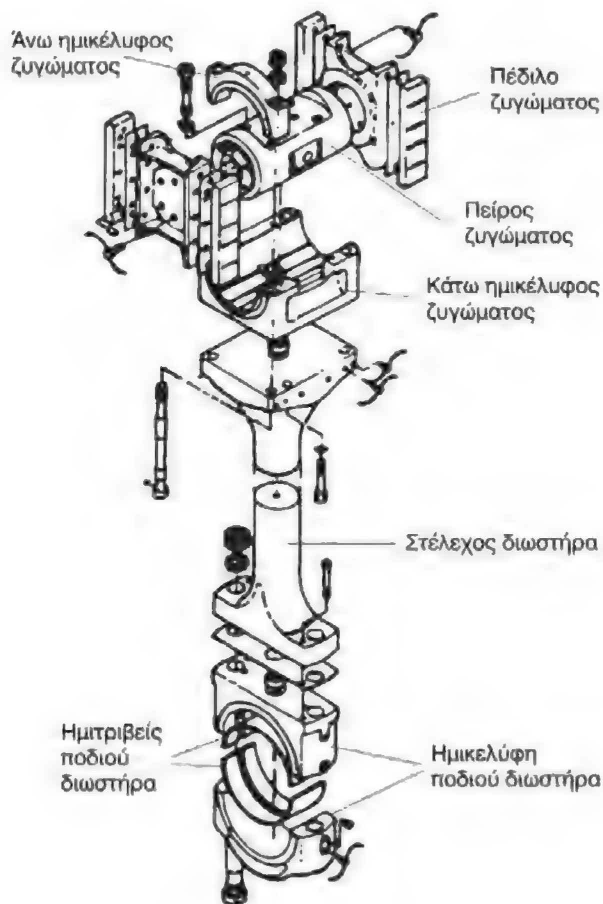
Αντίθετα, στην περίπτωση των τετραχρόνων μηχανών, κατά την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ στη φάση της εξαγωγής και την επακόλουθη κάθοδό του, οι (θλιπτικές) δυνάμεις των αερίων είναι αμελητέες σε σχέση με τις (εφελκυστικές) αδρανειακές, οπότε οι συνολικές δυνάμεις εμφανίζουν αντιστροφή προσήμου (εναλλασσόμενες θλιπτικές και εφελκυστικές, χρονικά μεταβαλλόμενες). Αυτή η αντιστροφή προσήμου είναι πολύ σημαντική για την καταπόνηση κυρίως των κοχλιών του διωστήρα στις τετράχρονες μηχανές. Οι συγκεκριμένοι κοχλίες καταπονούνται σε σημαντική κυμαινόμενη δυναμική εφελκυστική καταπόνηση (που οδηγεί σε κόπωση του υλικού), σε αντίθεση με τους αντίστοιχους κοχλίες των διχρόνων μηχανών, όπου οι αντίστοιχες δυναμικές καταπονήσεις οφείλονται μόνο στις αδρανειακές δυνάμεις των αντιστοίχων ημικελύφων (και όχι ολόκληρου του κινηματικού μηχανισμού) και είναι πολύ μικρότερες.

Συνεπώς, στις τετράχρονες μηχανές πρέπει να δίδεται μεγάλη σημασία στην τήρηση των ωρών λειτουργίας των αντιστοίχων κοχλιών και να τηρούνται κατά γράμμα, οι ροπές συσφίγξεώς τους για την επίτευξη της σωστής προεντάσεως (που μειώνει τη δυναμική τους καταπόνηση).

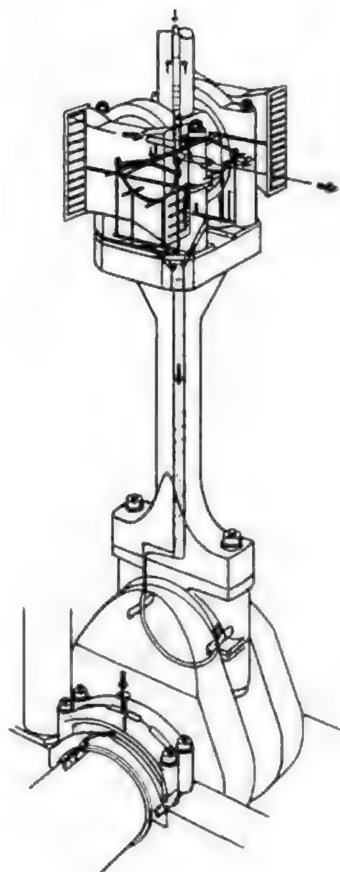
5.7.3 Λίπανση εδράνων διωστήρα.

Η ροή του λιπαντικού στα έδρανα του διωστήρα (κεφαλής και ποδιού) ακολουθεί διαφορετική διαδρομή στις αργόστροφες μηχανές με βάκτρο και ζύγωμα, από ό,τι στις μεσόστροφες μηχανές.

Στις αργόστροφες μηχανές το λάδι προσάγεται στο ζύγωμα με τηλεσκοπικούς ή αιωρούμενους σωλήνες και λιπαίνει τα (δύο) έδρανα του κομβίου και τα (τέσσερα) πέδιλα του ζυγώματος. Στη συνέχεια, μέσω αγωγού στο εσωτερικό του στελέχους του διωστήρα, οδηγείται στο πόδι του διωστήρα, όπου λιπαίνει το αντίστοιχο έδρανο του στροφαλοφόρου άξονα (σχ. 5.7ζ). Με τη μέθοδο αυτή δεν απαιτεί-



Σχ. 5.7στ.
Αναλυτική παρουσίαση των εξαρτημάτων του διωστήρα και του ζυγώματος δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής.



Σχ. 5.7ζ.
Συγκρότημα ζυγώματος, διωστήρα και στροφάλου αργόστροφης πετρελαιομηχανής, όπου διακρίνεται και η πορεία του λιπαντικού από το ζύγωμα προς το κομβίο του στροφάλου και προς την κεφαλή του εμβόλου (εντός του βάκτρου).

ται η διάνοιξη διαγωνίων οπών στο στροφαλοφόρο άξονα, για την προσαγωγή ελαίου λιπάνσεως στα κομβία των διωστήρων. Σε περίπτωση ψύξεως της κεφαλής του εμβόλου με λάδι, αυτό οδηγείται από το ίδιο κύκλωμα, μέσω κεντρικής οπής του βάκτρου, ενώ επιστρέφει στο ζύγωμα, μέσω ομόκεντρου αγωγού επιστροφής.

Στις μεσόστροφες μηχανές ακολουθείται η αντίθετη πορεία. Το λάδι προσάγεται με διαγώνιους αγωγούς εντός του στροφαλοφόρου άξονα στα έδρανα και στα πόδια των διωστήρων. Στη συνέχεια, μέσω αγωγού στο εσωτερικό κάθε στελέχους, το λιπαντικό οδηγείται στο έδρανο της κεφαλής.

5.8 Βάκτρο – Ζύγωμα – Στυπειοθλίπτης.

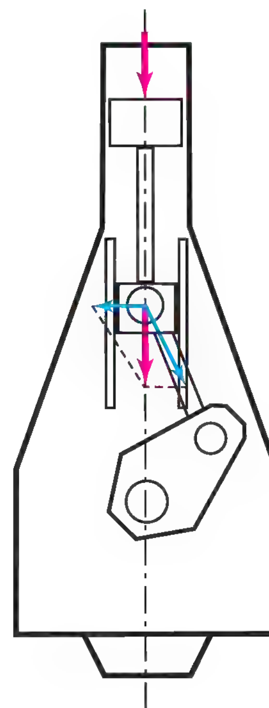
Το συγκρότημα του βάκτρου με το ζύγωμα είναι τμήμα του κινηματικού μηχανισμού του κινητήρα και μεταφέρει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου στο διωστήρα. Συναντάται στις δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές μεγάλης ισχύος.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δύναμη από την εκτόνωση των αερίων (ή η αντίδραση από τη συμπίεση του αέρα) αναλύεται σε μία συνιστώσα κατά τη διεύθυνση του στελέχους διωστήρα και σε μία οριζόντια συνιστώσα (κάθετη στον άξονα του πείρου του εμβόλου). Η οριζόντια συνιστώσα της δυνάμεως μηδενίζεται στο κάτω και στο άνω νεκρό σημείο, ενώ αντιστρέφει τη φορά της κατά τη φάση εκτονώσεως και τη φάση συμπιέσεως. Στην περίπτωση μηχανών χωρίς βάκτρο, η οριζόντια αυτή συνιστώσα μεταφέρεται από τις παρειές του εμβόλου, μέσω των ελατηρίων, στο χιτώνιο, στο σώμα των κυλίνδρων και στη συνέχεια, στον κορμό του κινητήρα. Στην περίπτωση μηχανών με βάκτρο και ζύγωμα, η κάθετη δύναμη στο έμβολο (από την εκτόνωση των καυσαερίων ή τη συμπίεση του αέρα), μεταφέρεται, ως έχει, μέσω του βάκτρου στο ζύγωμα, όπου και αναλύεται στις δύο συνιστώσες (σχ. 5.8α). Έτσι η οριζόντια συνιστώσα δεν καταπονεί πλέον τα τοιχώματα του κυλίνδρου, αλλά μεταφέρεται από το ζύγωμα στις ευθυντηρίες και στη συνέχεια στον κορμό του κινητήρα. Λόγω της απουσίας οριζόντιας συνιστώσας στο έμβολο, αποτρέπεται η ελλειπτική φθορά του χιτωνίου και μειώνεται η καταπόνηση του εμβόλου, οπότε το έμβολο μπορεί να κατασκευασθεί ελαφρύτερο. Παράλληλα με τη χρήση του διαφράγματος και του στυπειοθλίπτη, μπορεί να γίνει διαχωρισμός του στροφαλοθαλάμου από το τμήμα του κυλίνδρου κάτω από το έμβολο. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η χρήση διαφορετικών λιπαντικών για τον κύλινδρο (κυλινδρέλαιο) και την υπόλοιπη μηχανή. Παράλληλα είναι δυνατή η χρησιμοποίηση νερού ως ψυκτικού στο έμβολο, χωρίς κίνδυνο διαρροών προς το στροφαλοθάλαμο, ενώ προστατεύεται ο στροφαλοθάλαμος και η ελαιολεκάνη από την πτώση εξανθρακωμάτων που μολύνουν το λιπαντικό. Επιπρόσθετα, ο χώρος κάτω από το έμβολο, απομονωμένος από το στροφαλοθάλαμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί βοηθητικά ως αντλία σαρώσεως στα μερικά φορτία του κινητήρα (κιβώτιο σαρώσεως).

5.8.1 Βάκτρο (piston rod).

Το βάκτρο είναι ένας χαλύβδινος σφυρήλατος βραχίονας, του οποίου το ένα άκρο συνδέεται με το ζύγωμα, ενώ το άλλο συνδέεται σταθερά στο κάτω μέρος του εμβόλου (σχ. 5.8β). Το τμήμα του βάκτρου που συνδέεται στο έμβολο, αποτελεί δομικό στοιχείο του εμβόλου. Η σύνδεση βάκτρου και εμβόλου γίνεται με κοχλίες.

Το βάκτρο φέρει συχνά στο εσωτερικό του ειδικά διαμορφωμένους ομόκεντρους αγωγούς για την προσαγωγή και απαγωγή του ψυκτικού υγρού με σκοπό την ψύξη της κεφαλής του εμβόλου (όταν η



Σχ. 5.8α.
Η ανάλυση της δυνάμεως των αερίων σε συνιστώσα κατά τη διεύθυνση του διωστήρα και σε οριζόντια συνιστώσα, που μεταφέρεται μέσω του ζυγώματος στις ευθυντηρίες.

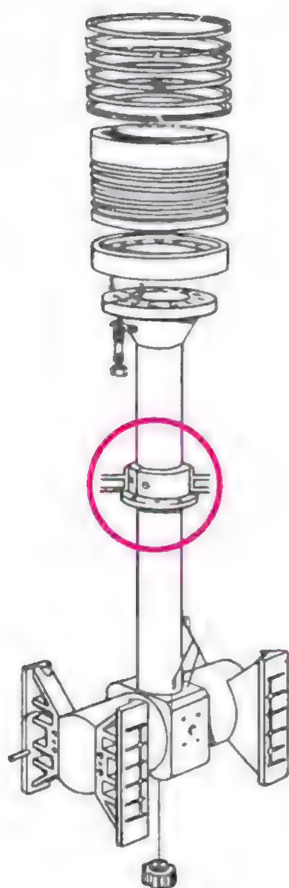
ψύξη γίνεται με λάδι). Η σύνδεση του βάκτρου με το ζύγωμα πραγματοποιείται είτε με τη χρήση σπειρώματος, διαμορφωμένου στο κάτω άκρο του, είτε με τη χρήση ανεξαρτήτων κοχλιών, όταν το βάκτρο καταλήγει σε πέλμα. Η σύσφιγξη των κοχλιών γίνεται υδραυλικά.

5.8.2 Ζύγωμα (crosshead).

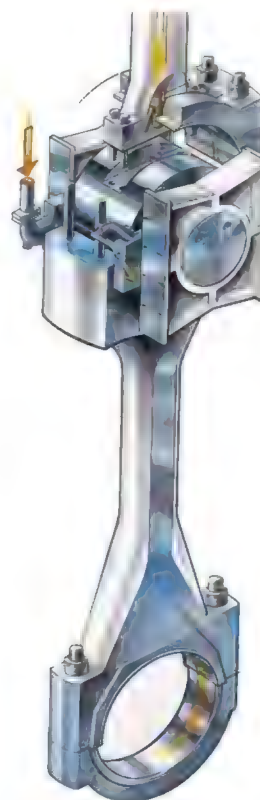
Η σύνδεση του βάκτρου με το διωστήρα γίνεται στο ζύγωμα, μέσω ειδικού πείρου (της κεφαλής του διωστήρα). Εκεί μεταφέρεται η κατακόρυφη δύναμη από το έμβολο. Αναλύεται στη συνιστώσα κατά τη διεύθυνση του στελέχους του διωστήρα και στη συνιστώσα σε οριζόντια διεύθυνση (σχ. 5.8α). Η συνιστώσα αυτή μεταφέρεται στα πέδιλα του ζυγώματος, τα οποία ολισθαίνουν παλινδρομικά πάνω στις ευθυντηρίες. Επειδή η φορά της οριζόντιας συνιστώσας της παραπάνω δυνάμεως αντιστρέφεται κατά τη φάση της συμπιέσεως και τη φάση της εκτονώσεως, πρέπει στο ζύγωμα να υπάρχουν πέδιλα και ευθυντηρίες και από τις δύο πλευρές του (σχ. 5.8γ). Το ζύγωμα κατασκευάζεται συνήθως από χάλυβα με σφυρηλάτηση.

Οι ευθυντηρίες είτε κατασκευάζονται σε ένα σώμα με το σκελετό της μηχανής, είτε κατασκευάζονται ξεχωριστά και προσαρμόζονται στη συνέχεια, με κοχλίες στο σκελετό (σχ. 5.2η). Στην πρώτη περίπτωση, η κατασκευή και λείανση των ευθυντηρίων είναι δυσχερέστερη. Η επιφάνειά τους έχει μεγαλύτερη σκληρότητα από τα πέδιλα του ζυγώματος, για να φθείρονται αυτά που μπορούν να αντικατασταθούν ευκολότερα. Τα πέδιλα κατασκευάζονται από χυτοχάλυβα ή χυτοσίδηρο, φέρουν νευρώσεις για τη μείωση του βάρους και την αύξηση της αντοχής και έχουν επικάλυψη από λευκά μέταλλα. Φέρουν δε στην επιφάνεια επαφής τους με τις ευθυντηρίες ειδικές αυλακώσεις για τη συγκράτηση και την ομοιόμορφη διανομή του λιπαντικού.

Τα πέδιλα κινούνται πάνω στις ευθυντηρίες μεταξύ οδηγών, οι οποίοι επιβάλλουν την κίνηση του ζυγώματος πάνω σε ένα επίπεδο. Στην περίπτωση φθοράς ή κακής ευθυγραμμίσεως των οδηγών, εμφανίζεται θόρυβος, ενώ εντείνεται η φθορά του χιτωνίου και των δακτυλίων του στυπειοθλίπτη (λόγω



Σχ. 5.8β.
Συγκρότημα εμβόλου-βάκτρου, στυπειοθλίπτη (σε κόκκινο κύκλο) και ζυγώματος σε δίχρονη αργόστροφη μηχανή.



Σχ. 5.8γ.
Διωστήρας δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής συνδεδεμένος με το ζύγωμα.

στρεβλής κινήσεως βάκτρου - εμβόλου), των ελατηρίων, του βάκτρου, των πελμάτων και της ευθυντηρίας. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της ευθυγραμμίσεως των πεδίλων, χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις με ελευθέρως κινούμενα πέδιλα.

Η λίπανση στο κομβίο της κεφαλής του διωστήρα και στα πέλματα του ζυγώματος γίνεται με προσαγωγή λαδιού υπό πίεση, μέσω τηλεσκοπικών ή αιωρουμένων σωλήνων (σχ. 5.8δ). Το λάδι στη συνέχεια οδηγείται στο έδρανο του ποδιού του διωστήρα, μέσω εσωτερικού αγωγού στο στέλεχος του διωστήρα, οπότε αποφεύγεται η διάτρηση του στροφαλοφόρου άξονα για τη λίπανση των εδράνων του διωστήρα.

Κατά την άνοδο του εμβόλου στο ΑΝΣ ανεβαίνει αντίστοιχα και το ζύγωμα στο άνω άκρο των ευθυντηριών. Επειδή η ταχύτητα κινήσεως συνεχώς μειώνεται προς το ΑΝΣ (όπου και μηδενίζεται στιγμιαία), εμφανίζεται μειωμένη λίπανση στο άνω τμήμα των ευθυντηριών. Εκεί όμως εμφανίζονται και οι μεγαλύτερες δυνάμεις (λόγω καύσεως), οπότε στην περιοχή αυτή εμφανίζονται και οι μεγαλύτερες φθορές τους.

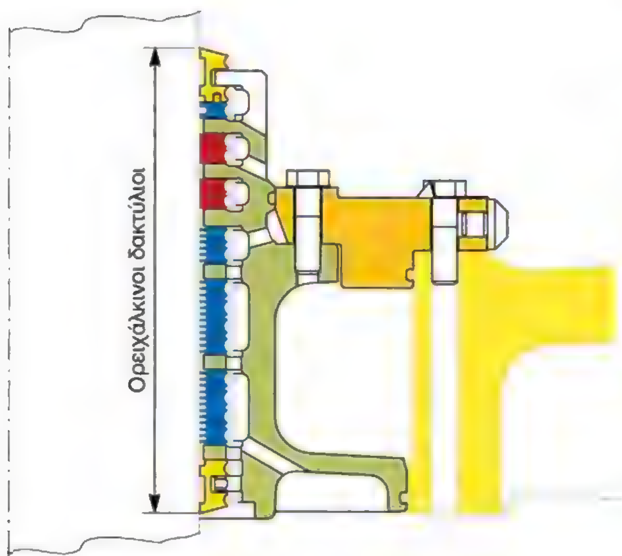
5.8.3 Στυπειοθλίπτης (piston rod gland).

Ο στυπειοθλίπτης τοποθετείται στο μεταλλικό διάφραγμα στον πυθμένα του κιβωτίου σαρώσεως, στεγανοποιώντας το σε σχέση με το στροφαλοθάλαμο, με τη βοήθεια στεγανοποιητικών δακτυλίων και ελατηρίων αποξέσεως λαδιού (σχ. 5.8β και 5.8ε). Εκτός από τη στεγανοποίηση, ο στυπειοθλίπτης σταθεροποιεί (κεντράρει) το βάκτρο, ομαλοποιώντας την κίνησή του. Στο στυπειοθλίπτη τοποθετούνται δύο ακραία ελατήρια αποξέσεως λαδιού (από ορείχαλκο), ένα από την πλευρά του κιβωτίου σαρώσεως και ένα από την πλευρά του στροφαλοθαλάμου. Μεταξύ των ακραίων ελατηρίων λαδιού τοποθετούνται ενδιάμεσα ελατήρια λαδιού με εγκάρσιες αυλακώσεις, καθώς και στεγανοποιητικοί δακτύλιοι (συνήθως ορειχάλκινοι ή και από τεφλόν). Το λάδι συσσωρεύεται μεταξύ των ελατηρίων λαδιού, που βρίσκονται κάτω από τους στεγανοποιητικούς δακτυλίους και επιστρέφει στο στροφαλοθάλαμο μέσω εσωτερικών αγωγών στο στυπειοθλίπτη. Από τα αντίστοιχα ελατήρια πάνω από τους στεγανοποιητικούς δακτυλίους οδηγείται στο κιβώτιο σαρώσεως. Βάκτρα με επιφανειακή σκλήρυνση χρησιμοποιούνται με σκοπό τη μείωση της φθοράς τους λόγω τριβής με το στυπειοθλίπτη και την επακόλουθη μείωση των διαρροών λαδιού.

Οι υπερβολικές φθορές στους δακτυλίους του στυ-



Σχ. 5.8δ.
Φωτογραφία του στροφαλοθαλάμου σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή, όπου διακρίνεται τμήμα του στροφαλοφόρου, ο διωστήρας, το ζύγωμα και οι διπλοί τηλεσκοπικοί σωλήνες λαδιού.



Σχ. 5.8ε.
Στυπειοθλίπτης σε τομή. Με κίτρινο χρώμα διακρίνονται οι ακραίοι δακτύλιοι αποξέσεως λαδιού, με γαλάζιο οι εσωτερικοί δακτύλιοι αποξέσεως λαδιού, ενώ με κόκκινο χρώμα διακρίνονται οι δακτύλιοι στεγανοποιήσεως. Όλοι οι δακτύλιοι είναι ορειχάλκινοι.

πειοθλίπτη, εκτός από την αύξηση των διαρροών, προκαλούν και ταλαντωτική κίνηση του βάκτρου και του εμβόλου. Η κίνηση αυτή επιτείνει το πρόβλημα, αυξάνοντας και τη φθορά του βάκτρου. Η ταλαντωτική κίνηση του εμβόλου μπορεί να προκληθεί και από υπερβολική φθορά των ελατηρίων του εμβόλου, ή των πελμάτων του ζυγώματος, ή κακή ρύθμιση των οδηγών τους. Προφανώς, υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραπάνω τμημάτων και η κακή λειτουργία του ενός επηρεάζει τη λειτουργία και τη φθορά των υπολοίπων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την αφαίρεση του εμβόλου που φέρει βάκτρο με πέλμα, θα πρέπει υποχρεωτικά να εξαρμοσθεί μαζί με το βάκτρο και ο στυπειοθλίπτης.

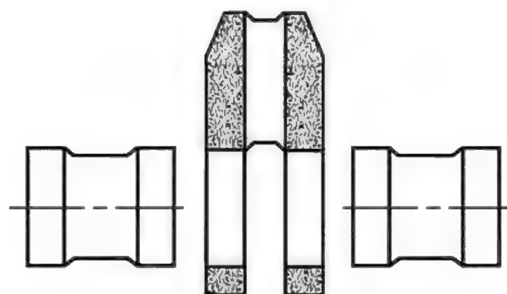
5.9 Στροφαλοφόρος άξονας.

5.9.1 Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.

Στις αργόστροφες πετρελαιομηχανές ο στροφαλοφόρος άξονας είναι ένα από τα πιο βαριά και ακριβά τμήματα του κινητήρα (σχ. 5.9α). Μπορεί να αποτελέσει μέχρι και το 20% του συνολικού βάρους του κινητήρα, ενώ το κόστος του μπορεί να ξεπεράσει το 10% του συνολικού κόστους της μηχανής. Λόγω του πολύ μεγάλου μεγέθους του, κατασκευάζεται τμηματικά, από χυτά και στη συνέχεια σφυρηλατημένα τμήματα χάλυβα. Η σφυρηλάτηση του χάλυβα αυξάνει ιδιαίτερα την αντοχή του (αύξηση ορίου διαρροής), παραμορφώνοντας ομοιόμορφα τους κρυσταλλικούς κόκκους του μετάλλου. Δημιουργείται έτσι μια εσωτερική δομή των κόκκων υπό μορφή ιστού, η οποία μεταφέρει πιο ομαλά τις αναπτυσσόμενες τάσεις.



Σχ. 5.9α.
Στροφαλοφόρος δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής δύο τμημάτων, ενώ τοποθετείται στη βάση της μηχανής, κατά τη διάρκεια του κτισίματός της.



Σχ. 5.9β.
Συναρμολόγηση στροφαλοφόρου άξονα με σφιχτή συναρμογή, μεταξύ κομβίων βάσεως και βραχιόνων.

Τα τμήματα του στροφαλοφόρου άξονα συνδέονται μεταξύ τους είτε (συνήθως) με σφιχτή συναρμογή, είτε (τελευταία) με συγκόλληση. Στην πρώτη περίπτωση, ο άξονας κατασκευάζεται με τους βραχίονες (κιθάρες) και τα κομβία σε ξεχωριστά τμήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με συστολή του κομβίου (ή και διαστολή του βραχίονα) (σχ. 5.9β). Οι οπές των βραχιόνων έχουν μικρότερη διάμετρο

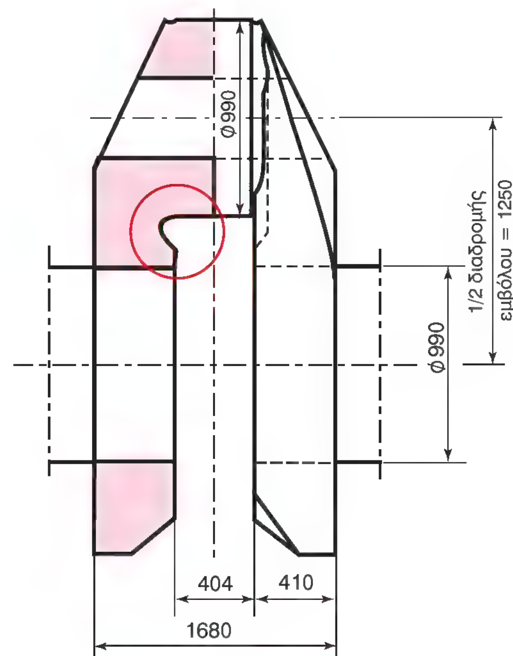
από την εξωτερική διάμετρο των κομβίων, οπότε, για να εισχωρήσουν τα κομβία στις αντίστοιχες οπές των βραχιόνων, πρέπει να ψυχθούν, έτσι ώστε να μικρύνει η διάμετρός τους. Η ψύξη τους πραγματοποιείται με τη χρήση υγρού αζώτου. Μετά την εισχώρηση και την επαναφορά της θερμοκρασίας σε κανονικά επίπεδα, τα κομβία συσφίγγονται από τους βραχίονες (λόγω της διαφοράς των διαμέτρων τους), επιτυγχάνοντας σφιχτή συναρμογή. Το κομβίο μετά την ένωση βρίσκεται σε συνεχή θλίψη, ενώ ο βραχίονας υπό συνεχή εφελκυσμό (στεφανιαίες τάσεις).

Παλαιότερα, αντί για ψύξη του κομβίου εφαρμοζόταν θέρμανση του βραχίονα. Η πιθανότητα όμως επιφανειακής του οξειδώσεως (λόγω των υψηλών θερμοκρασιών) δημιουργούσε κίνδυνο ανομοιόμορφης συνδέσεως των δύο τμημάτων, οπότε σταδιακά καταργήθηκε.

Για τη σύνδεση των τμημάτων μεταξύ τους χρησιμοποιείται μόνο η αναπτυσσόμενη τριβή λόγω της ισχυρής θλίψεως του κομβίου. Δεν χρησιμοποιούνται καθόλου συνδέσεις μορφής (σφήνες, πολύσφηνα ή πείροι) διότι θα προκαλούσαν ανομοιομορφία των τάσεων και θα μεγάλωναν ιδιαίτερα τον κίνδυνο θραύσεως λόγω κοπώσεως (από τη συγκέντρωση των τάσεων στις εγκοπές). Για τον ίδιο λόγο, το σημείο συνδέσεως του κομβίου με το βραχίονα έχει ακτίνα καμπυλότητας, για να μειώνεται ο κίνδυνος θραύσεως από κόπωση, μέσω της ομαλής μεταφοράς των τάσεων. Για να δημιουργηθεί η καμπυλότητα αυτή, πρέπει το κομβίο να έχει μικρότερη διάμετρο στο σημείο επαφής των δακτυλίων του εδράνου (το κεντρικό του τμήμα) από ό,τι στις δύο άκρες του που εισχωρούν στους αντίστοιχους βραχίονες. Η ύπαρξη της καμπυλότητας στη σύνδεση κομβίου και βραχίονα μειώνει το διαθέσιμο πλάτος για την έδραση του κομβίου. ΄Ετσι, συχνά δημιουργείται εσωτερική καμπυλότητα στο βραχίονα στο σημείο συνδέσεως, και έχει αντίστοιχα αποτελέσματα αντοχής, χωρίς να μειώνει το ωφέλιμο πλάτος του κομβίου (σχ. 5.9γ και 5.9δ).

Επειδή δεν υπάρχει σύνδεση μορφής μεταξύ κομβίων και βραχιόνων, ελλοχεύει πάντα ο κίνδυνος ολισθήσεως των συνδεδεμένων τμημάτων, στην περίπτωση ιδιαίτερα υψηλών κρουστικών φορτίσεων του στροφαλοφόρου άξονα. Τέτοια περίπτωση εμφανίζεται, όταν υπάρχουν μεγάλες διαρροές νερού ψύξεως ή καυσίμου στο εσωτερικό του θαλάμου καύσεως και η μηχανή είναι σταματημένη. Κατά την εκκίνηση, τα υγρά δεν προλαβαίνουν να εξέλθουν από τα ασφαλιστικά του κυλίνδρου και, επειδή είναι ασυμπίεστα, το έμβολο δεν μπορεί να φτάσει στο ΑΝΣ. ΄Ετσι μεταφέρονται ισχυρές κρουστικές δυνάμεις, μέσω του διωστήρα στο αντίστοιχο κομβίο του διωστήρα και στους δύο βραχίονες, με αποτέλεσμα αυτοί να ολισθήσουν σε σχέση με τα αντίστοιχα κομβία βάσεως. Η μετακίνηση του συγκεκριμένου αγκώνα απορρυθμίζει το χρονισμό της μηχανής. Μικρές μετακινήσεις είναι ανεκτές και μπορούν να αντιμετωπισθούν με κατάλληλη διόρθωση του χρονισμού του καυσίμου. Στην περίπτωση όμως μεγάλων μετακινήσεων απαιτούνται ειδικές διατάξεις ψύξεως των κομβίων και θερμάνσεως των βραχιόνων, για να είναι δυνατή η μετακίνησή τους και η επαναφορά στην προηγούμενη θέση τους.

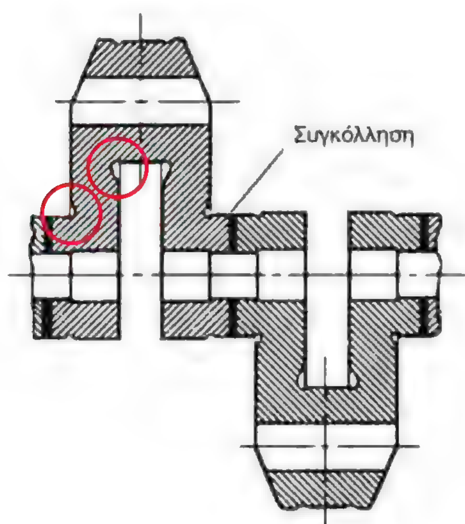
Τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των συγκολλήσεων επέτρεψαν την κατασκευή στροφαλοφόρων αξόνων με συγκόλληση (σχ. 5.9δ). Τα τμήματα που συγκολλούνται, αποτελούνται από ενιαίους αγκώνες οι οποίοι φέρουν στις δύο πλευρές τους τα δύο μισά των αντιστοίχων κομβίων βάσεως. Η κατασκευή πραγματοποιείται με συγκόλληση μεγάλου βάθους των δύο μισών των κομβίων βάσεως. Οι στροφαλοφόροι άξονες που κατασκευ-



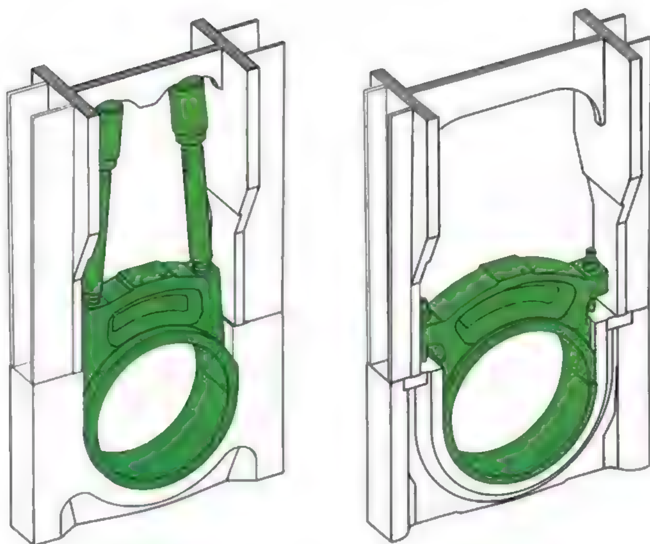
Σχ. 5.9γ.
Στρόφαλος μεγάλης δίχρονης πετρελαιομηχανής σε τομή, με τις κύριες διαστάσεις του. Διακρίνεται η εσωτερική καμπυλότητα στο σημείο που συνδέεται το κομβίο του διωστήρα με τους βραχίονες, για τη μείωση της συγκεντρώσεως των τάσεων, χωρίς την αύξηση του μήκους του κομβίου. Η σύνδεση με τα κομβία βάσεως γίνεται με σφικτή συναρμογή.

άζονται με τον τρόπο αυτό είναι ισχυρότεροι και ελαφρύτεροι από τους παραδοσιακούς άξονες (μέχρι και 30% μείωση του βάρους). Η μείωση του βάρους προέρχεται από τη μείωση του μεγέθους των βραχιόνων, αφού δεν απαιτείται πλέον μεγάλο πάχος που να περιβάλλει τα κομβία. Δεν υπάρχει άλλωστε στην περιοχή αυτή συναρμογή δύο τμημάτων, αλλά ενιαίο τμήμα.

Τα κομβία βάσεως του στροφαλοφόρου στηρίζονται στα έδρανα βάσεως, που κατασκευάζονται σε δύο διαιρούμενα χυτοσιδηρά ή χαλύβδινα τμήματα. Τα τμήματα αυτά συνδέονται με κοχλίες στο σκελετό της μηχανής (σχ. 5.9ε). Εντός των δύο ημικελύφων των εδράνων τοποθετούνται οι τριβείς των κομβίων βάσεως. Στα δύο ημικελύφη προσάγεται λάδι υπό πίεση για τη λίπανση των κομβίων βάσεως.



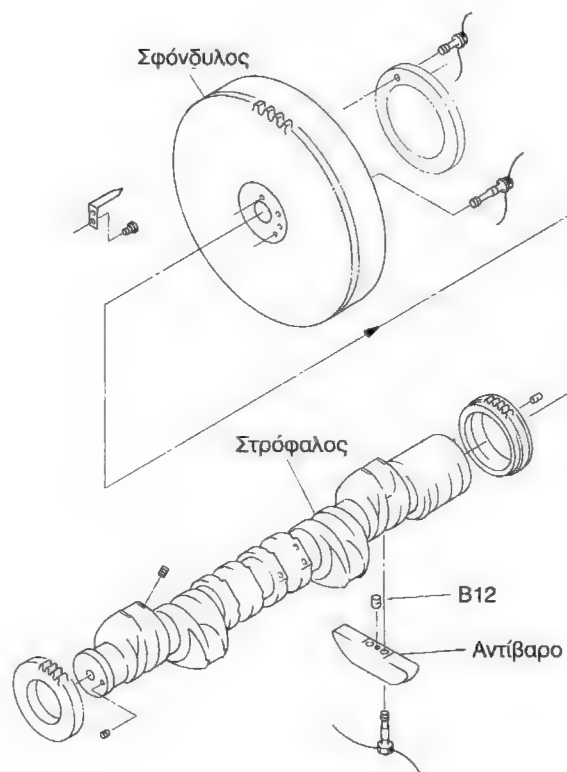
Σχ. 5.9δ.
Συναρμολόγηση στροφαλοφόρου άξονα με συγκόλληση. Οι έντονες μαύρες γραμμές δείχνουν τις συγκολλήσεις.



Σχ. 5.9ε.
Εναλλακτικοί τρόποι συνδέσεως των εδράνων βάσεως του στροφαλοφόρου άξονα δίχρονης πετρελαιομηχανής στο σκελετό της.

5.9.2 Μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.

Ο στροφαλοφόρος άξονας στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές κατασκευάζεται συνήθως με σφυρηλάτηση σε ένα τμήμα. Μετά τη σφυρηλάτηση ακολουθούν κατεργασίες κοπής και λειάνσεως, που δίνουν στον άξονα τις τελικές του διαστάσεις. Σε διαφορετικά τμήματα κατασκευάζονται συνήθως τα αντίβαρα, τα οποία προσαρμόζονται στους αντίστοιχους βραχίονες με κοχλίες (σχ. 5.9στ). Με τον τρόπο αυτό, γίνεται πιο εύκολη η κατασκευή του στροφαλοφόρου άξονα, καθώς μειώνεται η πολυπλοκότητα της μορφής και το βάρος του διαμορφούμενου τμήματος.



Σχ. 5.9στ.
Μονοκόμματος στροφαλοφόρος άξονας μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής. Διακρίνεται η σύνδεσή του με το σφόνδυλο, καθώς και ο τρόπος συνδέσεως των αντιβάρων στους βραχίονες κάθε στροφάλου με τη χρήση κοχλιών.

Τα υλικά κατασκευής του στροφαλοφόρου άξονα είναι κραματωμένοι χάλυβες υψηλής αντοχής. Εκτός από τη μέθοδο της σφυρηλατήσεως, για την κατασκευή των στροφαλοφόρων αξόνων έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο η χύτευση, κυρίως στην περίπτωση μικροτέρων μηχανών. Η υιοθέτηση της χυτεύσεως έγινε δυνατή μετά την ανάπτυξη ειδικών χυτοχαλύβων με υψηλή αντοχή και χυτευσιμότητα. Οι χυτοχάλυβες αυτοί μπορούν να χυτευθούν χωρίς πρόβλημα στο μεγάλο μέγεθος και το πολύπλοκο σχήμα των στοφαλοφόρων αξόνων.

Οι στροφαλοφόροι άξονες των μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών αναρτώνται συνήθως στο κάτω μέρος του πλαισίου της μηχανής. Στηρίζονται σε έδρανα τα οποία προσαρμόζονται σε κατάλληλες κοιλότητες στο κάτω μέρος του σκελετού. Η ισχυρή σύνδεση των εδράνων στο σκελετό της μηχανής (όχι μόνο με κατακόρυφους αλλά και με οριζόντιους κοχλίες), δίνει την απαραίτητα ακαμψία για την ομαλή περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

Τα σημεία συνδέσεως των κομβίων του στροφαλοφόρου άξονα με τις αντίστοιχες παρειές είναι κατασκευασμένα με συγκεκριμένες ακτίνες καμπυλότητας, για να μεταβιβάζονται ομαλά οι τάσεις κατά την αλλαγή της διατομής και να μειώνεται ο κίνδυνος θραύσεως λόγω κοπώσεως. Τα κομβία του άξονα καταπονούνται ιδιαίτερα σε δυναμικές φορτίσεις, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει μεγάλος κίνδυνος φθοράς τους, λόγω της πιθανής επαφής τους με τους δακτυλίους των τριβέων. Αυτό μπορεί να συμβεί, λόγω των υψηλών αναπτυσσομένων φορτίων, που προκαλούν μείωση του πάχους του λαδιού μεταξύ του κομβίου και του τριβέα. Η φθορά της επιφάνειας του κομβίου επιτείνει τον κίνδυνο κοπώσεως, λόγω της δημιουργίας επιφανειακών αποξέσεων και της επιδεινώσεως της τραχύτητας της επιφάνειας.

Για να μειωθεί ο κίνδυνος φθοράς της επιφάνειας των κομβίων, γίνεται ειδική επεξεργασία επιφανειακής σκληρύνσεως. Η επιφανειακή σκλήρυνση γίνεται είτε με βαφή είτε με εναζώτωση. Στην πρώτη περίπτωση, η επιφάνεια των κομβίων θερμαίνεται ταχύτατα (με φλόγα ή με επαγωγικά ρεύματα) και στη συνέχεια, ψύχεται απότομα με νερό. Με τη διεργασία αυτή δημιουργείται επιφανειακό στρώμα ιδιαίτερα σκληρό, η σκληρότητα του οποίου εξαρτάται από την ταχύτητα της ψύξεως και από την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να λαμβάνεται έτσι ώστε η σκλήρυνση να μην εισέρχεται στην περιοχή της συνδέσεως των κομβίων με τις παρειές (στην περιοχή καμπυλώσεως) ώστε να μην δημιουργούνται πολύπλοκες φορτίσεις του υλικού.

Η επιφανειακή σκλήρυνση με εναζώτωση πραγματοποιείται σε στροφαλοφόρους άξονες υψηλά καταπονούμενους. Η σκλήρυνση του υλικού επιτυγχάνεται λόγω της δημιουργίας νιτριδίων (ιδιαίτερα σκληρών ενώσεων μετάλλων με το άζωτο) στην επιφάνεια του στροφαλοφόρου άξονα. Ο χάλυβας κατασκευής περιέχει κατάλληλα πρόσθετα για τη δημιουργία των νιτριδίων. Ο άξονας θερμαίνεται στους 500^{o}-600 ^{o}C, σε ατμόσφαιρα που περιέχει αμμωνία και υδρογονάνθρακες για πολλές ώρες, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα υψηλής σκληρότητας, πάχους περίπου 0,25 mm. Το λεπτό αυτό στρώμα εκτός της αυξημένης σκληρότητας προσφέρει και αυξημένη αντοχή, επειδή προκαλεί συνεχή θλιπτική φόρτιση στην επιφάνεια του άξονα. Έτσι, μειώνεται η μέγιστη τιμή των εφελκυστικών τάσεων (οι οποίες μεγιστοποιούνται στην επιφάνεια), μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο θραύσεως από κόπωση.

5.9.3 Καταπόνηση στροφαλοφόρου άξονα.

Η καταπόνηση του στροφαλοφόρου άξονα είναι σύνθετη (εμφανίζονται δηλαδή ταυτόχρονα διαφορετικά είδη φορτίσεων) και ιδιαίτερα πολύπλοκη. Λόγω της κυκλικής μεταβολής των δυνάμεων από την κίνηση των εμβόλων η φόρτιση είναι δυναμική (χρονικά μεταβαλλόμενη), οπότε υπάρχει αυξημένος κίνδυνος κοπώσεως.

Οι δυνάμεις κατά την εκτόνωση των αερίων ή κατά τη συμπίεση του αέρα, επειδή εφαρμόζονται στο κομβίο του διωστήρα σε απόσταση από τον άξονα περιστροφής, δημιουργούν προφανώς στρεπτικές ροπές. Οι ροπές αυτές είναι χρονικά μεταβαλλόμενες, καθώς μεταβάλλεται η δύναμη από και προς το έμβολο (όπως προκύπτει από το δυναμοδεικτικό διάγραμμα), ενώ αντίστοιχα μεταβάλλεται και η γωνιακή θέση του κομβίου του διωστήρα. Οι ροπές αυτές αντιστρέφουν το πρόσημο, καθώς κατά τη συμπίεση έχουν αντίθετη φορά από την εκτόνωση.

Εκτός των δυνάμεων από τα αέρια, σημαντικό ρόλο παίζουν και οι αδρανειακές δυνάμεις εξαιτίας των παλινδρομικών και περιστρεφομένων μαζών. Η περιστροφή των μαζών δεν δημιουργεί προφανώς στρεπτικές ροπές (η φυγόκεντρος δύναμη λόγω περιστροφής δεν έχει περιφερειακή συνιστώσα). Η παλινδρόμηση των μαζών όμως δημιουργεί στρεπτικές ροπές, οι οποίες για κάθε κύκλο λειτουργίας έχουν μηδενική μέση τιμή. Κατ’ αυτόν τον τρόπο

δεν επηρεάζουν τη συνολική παραγωγή έργου, επηρεάζουν όμως σημαντικά τη στιγμιαία φόρτιση του στροφαλοφόρου άξονα και ολόκληρης της μηχανής.

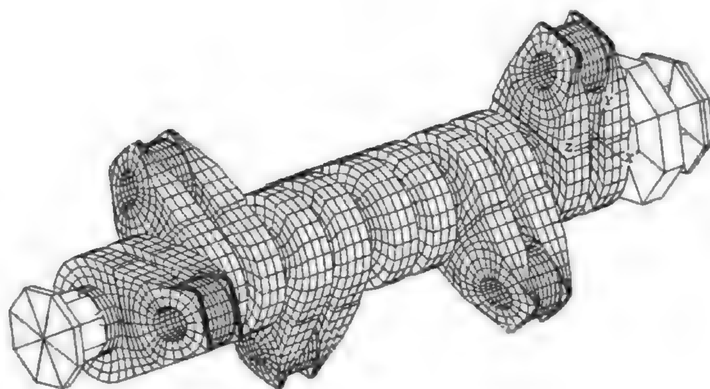
Οι αδρανειακές δυνάμεις και οι δυνάμεις λόγω της δράσεως των αερίων καταπονούν σε διάτμηση τα κομβία βάσεως και τα κομβία των διωστήρων, ενώ παράλληλα, δημιουργούνται καμπτικές τάσεις. Οι διατμητικές και καμπτικές τάσεις είναι προφανώς χρονικά μεταβαλλόμενες. Οι βραχίονες του στροφαλοφόρου άξονα, λόγω της έκκεντρης εφαρμογής των δυνάμεων στα κομβία του διωστήρα καταπονούνται από καμπτικές τάσεις, οι οποίες είναι και αυτές χρονικά μεταβαλλόμενες.

Στις παραπάνω φορτίσεις πρέπει να προστεθούν οι στρεπτικές φορτίσεις του στροφαλοφόρου άξονα από τη δράση της έλικας, ειδικά στις περιπτώσεις των μεγάλων αργοστρόφων μηχανών με απ' ευθείας σύνδεση κινητήρα και έλικας. Το ανομοιόμορφο πεδίο ροής (ειδικά σε περιπτώσεις έντονου κυματισμού) ή οι ταλαντώσεις από απώλεια της ζυγοσταθμίσεως της έλικας (στρέβλωση πτερυγίου) μεταβιβάζουν πρόσθετες χρονικά μεταβαλλόμενες φορτίσεις στο στροφαλοφόρο άξονα, επιτείνοντας το πρόβλημα.

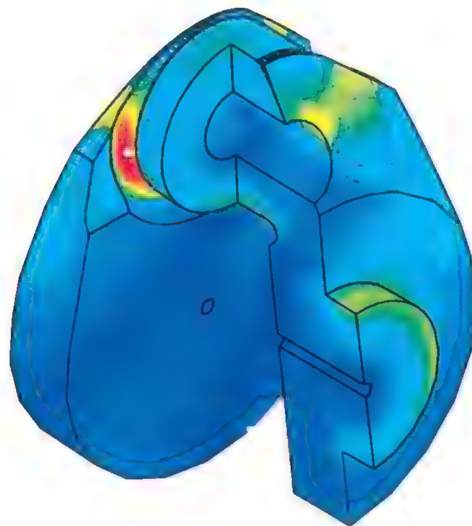
Στην περίπτωση βλάβης κάποιου ή κάποιων κυλίνδρων της μηχανής, διαφοροποιούνται οι δυνάμεις λόγω αερίων στους συγκεκριμένους κυλίνδρους, οπότε μεταβάλλεται η φόρτιση του στροφαλοφόρου άξονα από κύλινδρο σε κύλινδρο. Επίσης, στην περίπτωση ανομοιόμορφης φθοράς των εδράνων βάσεως (ή απώλειας συσφίγξεως των κοχλιών στηρίξεως των εδράνων) επέρχεται κάμψη του στροφαλοφόρου άξονα. Ο κεκαμμένος άξονας καθώς περιστρέφεται, καταπονεί τα κομβία βάσεως σε μεταβαλλόμενου προσήμου καμπτικές τάσεις. Αντίστοιχα, λόγω της παραμορφώσεως του άξονα, οι βραχίονες τείνουν να απομακρύνονται, όταν βρίσκονται στο ΑΝΣ και να συγκλίνουν, όταν βρίσκονται στο ΚΝΣ, καταπονούμενοι και αυτοί σε κάμψη.

Οι δυνάμεις των αερίων και οι αδρανειακές δυνάμεις (παλινδρομικές και περιστροφικές), εφαρμοζόμενες πάνω στο στροφαλοφόρο άξονα (και στα υπόλοιπα τμήματα της μηχανής), δημιουργούν πρόσθετες ταλαντώσεις, λόγω της ελαστικότητας των μεταλλικών μερών. Οι ταλαντώσεις αυτές όσον αφορά το στροφαλοφόρο άξονα είναι κυρίως στρεπτικές και καμπτικές, με μεγάλο φάσμα συχνοτήτων και ευρών. Οι ταλαντώσεις αυτές καταπονούν και τα υπόλοιπα τμήματα της μηχανής. Ιδιαίτερα πολύπλοκο γίνεται το σύστημα των ταλαντώσεων στην περίπτωση της απ' ευθείας συνδέσεως του κινητήρα με την έλικα του πλοίου, οπότε τα πτερύγια της έλικας επάγουν σημαντικές ταλαντώσεις στο στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής (ακόμη και στην περίπτωση που δεν υπάρχει βλάβη στην έλικα).

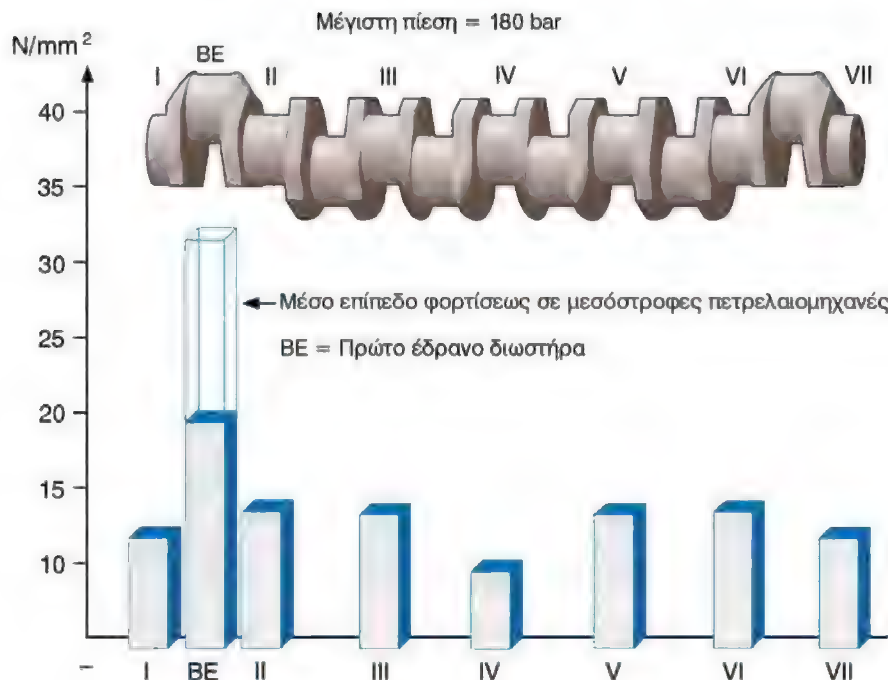
Ο υπολογισμός των φορτίσεων του στροφαλοφόρου άξονα, ακόμη και υπό ομαλές συνθήκες λειτουργίας σε σταθερές στροφές, είναι ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο πρόβλημα, το οποίο πλέον αντιμετωπίζεται με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών (ανάλυση του άξονα σε πεπερασμένα στοιχεία, σχήματα 5.9ζ 5.9η.



Σχ. 5.9ζ.
Ανάλυση στροφαλοφόρου δίχρονης πετρελαιομηχανής σε πεπερασμένα στοιχεία για τον υπολογισμό των τάσεων και της αντοχής του.



Σχ. 5.9η.
Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων ενός στροφάλου δίχρονης πετρελαιομηχανής (οι δύο βραχίονες μαζί με το κομβίο του διωστήρα και το μισό κομβίο βάσεως). Η περιοχή με έντονο κόκκινο χρώμα στην καμπυλωμένη επιφάνεια συνδέσεως του κομβίου του διωστήρα με τους βραχίονες, αντιστοιχεί στη μέγιστη καταπόνηση.



Σχ. 5.9θ.
Καταπόνηση στροφαλοφόρου άξονα τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, στα κομβία βάσεώς του.

Σε επόμενα κεφάλαια θα περιγραφούν αναλυτικά οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο στροφαλοφόρο άξονα, καθώς και τα μέτρα που λαμβάνονται για τον περιορισμό των ταλαντώσεων του άξονα και ολόκληρης της μηχανής (σχ. 5.9θ).

5.9.4 Λίπανση στροφαλοφόρου.

Η λίπανση των κομβίων διωστήρα του στροφαλοφόρου άξονα στις μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές γίνεται μέσω εσωτερικών αγωγών στο στροφαλοφόρο άξονα. Οι αγωγοί αυτοί κατασκευάζονται με διάτρηση υπό γωνία των βραχιόνων του διωστήρα και ενώνουν τα κομβία βάσεως με τα κομβία του διωστήρα. Το λιπαντικό οδηγείται σε κεντρικό αγωγό, ο οποίος το διανέμει στις τριβόμενες επιφάνειες των κομβίων βάσεως. Μέσω των εσωτερικών αγωγών του στροφαλοφόρου άξονα, διανέμεται το λιπαντικό προς τα γειτονικά κομβία των διωστήρων (σχ. 5.9ι).

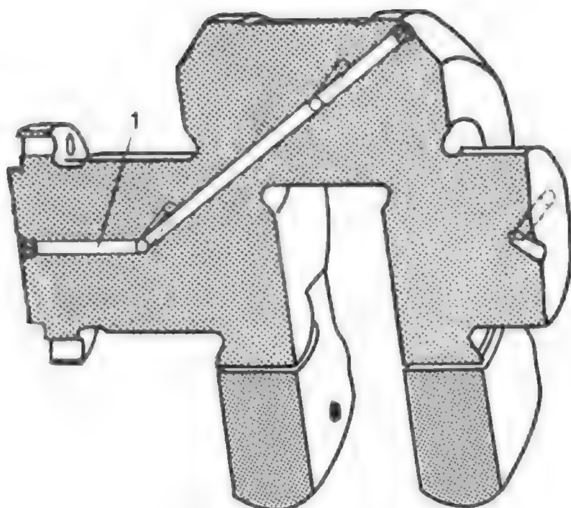
Στις μεγάλης ισχύος αργόστροφες πετρελαιομηχανές δεν υπάρχουν εσωτερικοί αγωγοί λιπάνσεως στο στροφαλοφόρο άξονα. Η λίπανση στα κομβία των διωστήρων γίνεται με ανάστροφη ροή του λιπαντικού μέσω εσωτερικών αγωγών στα στελέχη των διωστήρων, με κατεύθυνση προς τα αντίστοιχα κομβία του στροφαλοφόρου άξονα.

5.9.5 Φθορές – Βλάβες.

Η επιφάνεια των κομβίων διαβρώνεται από τα όξινα λάδια της μηχανής, τα οποία αλλοιώνονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας της, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται γραμμώσεις. Γραμμώσεις μπορούν να δημιουργηθούν και από στιγμιαία επαφή των κομβίων με τους τριβείς σε μεγάλα φορτία, όπου μειώνεται το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης, καθώς και από ρινίσματα που παρασύρονται από το λιπαντικό. Για να επισκευασθούν τα κομβία, γίνεται επιτόπου τόρνευση, γιατί είναι δύσκολο και ιδιαίτερα χρονοβόρο να αφαιρεθεί ο άξονας.

Σε κομβίο με μεγάλη φθορά και με διάμετρο μέχρι 6 in πραγματοποιείται ρίκνωση ή προπαρασκευή της επιφάνειας με βομβαρδισμό από μεταλλικά σφαιρίδια (blasting). Στη συνέχεια, γίνεται αναγόμωση του άξονα. Ακολουθεί κατεργασία κοπής, για να έρθει το κομβίο στην αρχική του διάμετρο, καθώς και θερμικές κατεργασίες για την αποκατάσταση της κρυσταλλικής του δομής. Με τη μέθοδο όμως αυτή δεν αποκτά ο άξονας την αρχική του αντοχή.

Στην περίπτωση που καεί τοπικά ο στροφαλοφόρος από την ανάφλεξη λαδιού, εμφανίζονται ισχυρές θερμικές τάσεις με κίνδυνο να εμφανιστούν ρωγμές. Στην περίπτωση αυτή ο στροφαλοφόρος άξονας πρέπει να ελέγχεται στη συγκεκριμένη περιοχή για



Σχ. 5.9ι.
Τομή τμήματος στροφαλοφόρου άξονα τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, όπου διακρίνεται η οπή λιπάνσεως (1) που μεταφέρει το λιπαντικό από το κομβίο βάσεως στο κομβίο του διωστήρα.

ύπαρξη ρωγμών με μη καταστρεπτικές μεθόδους (π.χ. διεισδυτικά υγρά).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στη μέτρηση της σκληρότητας των επιφανειών των κομβίων. Μείωση της σκληρότητας αυξάνει το ρυθμό φθοράς των κομβίων από διάβρωση.

Θραύσεις στροφαλοφόρων σπάνια παρατηρούνται. Μπορεί να προκύψουν, όταν συμβαίνουν τα εξής:

- Ο κινητήρας λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα στην κρίσιμη ταχύτητα με παρουσία στρεπτικών ταλαντώσεων, οπότε συντονίζεται ο στροφαλοφόρος άξονας και καταπονείται υπερβολικά σε κόπωση.
- Ο στροφαλοφόρος λειτουργεί με μεγάλα βέλη κάμψεως και με τιμές εκτροπής, μεγαλύτερες από τα όρια του κατασκευαστή.
- Υπάρχει μεγάλο διάκενο μεταξύ των τριβέων και του στροφαλοφόρου ή ανομοιόμορφη και σημαντική φθορά των κομβίων του.

Συνήθως η θραύση παρατηρείται κοντά στις οπές λιπάνσεως (λαδότρυπες) ή στα σημεία συνδέσεως βραχίονα και κομβίου. Στα σημεία αυτά εμφανίζεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση τάσεων και είναι τα πιο επικίνδυνα σημεία για έναρξη ρωγμών λόγω κοπώσεως. Για το λόγο αυτό οι οπές λιπάνσεως είναι στρογγυλεμένες στο σημείο εξόδου τους στην επιφάνεια του κομβίου, ενώ στα σημεία συνδέσεως των κομβίων με τους βραχίονες υπάρχει ομαλή μεταβολή της διατομής με συγκεκριμένη ακτίνα καμπυλότητας. Σε περίπτωση που το πλοίο προσαράξει και δημιουργηθούν επιπρόσθετες τάσεις στο στροφαλοφόρο (λόγω παραμορφώσεως της γάστρας και επακόλουθης παραμορφώσεως του σκελετού της μηχανής), τότε αυξάνεται η πιθανότητα θραύσεώς του.

Ο στροφαλοφόρος άξονας μπορεί να εμφανίσει έλλειψη ευθυγραμμίσεως, ακόμη και σε καινούργιες μηχανές. Αυτή μπορεί να οφείλεται στα εξής:

- Ο στροφαλοφόρος δεν είναι τελείως ευθύς από κατασκευής.
- Δεν έχει γίνει σωστά η ευθυγράμμιση της βάσεως κατά την εγκατάσταση της μηχανής, οπότε με την τοποθέτησή του ο στροφαλοφόρος άξονας παραμορφώνεται.
- Δεν έχει γίνει σωστή σύσφιγξη των κοχλιών στα έδρανα βάσεως του στροφαλοφόρου.
- Έχει παραμορφωθεί η γάστρα από προσάραξη του πλοίου.
- Έχει παραμορφωθεί ο σκελετός από κακή σύσφιγξη των εντατήρων.
- Έχουν χαλαρώσει οι κοχλίες της βάσεως και οι σφήνες (chocks).
- Έχουν φθαρεί υπερβολικά οι τριβείς των εδράνων βάσεως, με αποτέλεσμα την κάμψη του στροφαλοφόρου άξονα.

5.9.6 Έλεγχος αποκλίσεως (deflection) στροφαλοφόρου άξονα.

Η υπερβολική κάμψη του στροφαλοφόρου άξονα μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε θραύση του. Έτσι ο στροφαλοφόρος άξονας πρέπει να ελέγχεται ως προς την ευθυγράμμισή του, τόσο κατά την τοποθέτηση της μηχανής, όσο και κατά τη λειτουργία της μηχανής, σε τακτά χρονικά διαστήματα, όπως αυτά ορίζονται από τον κατασκευαστή. Η μέτρηση της ευθυγραμμίσεως γίνεται με το στροφαλοφόρο άξονα κρύο (μπορεί να γίνεται και με το στροφαλοφόρο άξονα ζεστό, αν το επιτρέπει ο κατασκευαστής και υπό προϋποθέσεις που καθορίζονται στα εγχειρίδια της μηχανής).

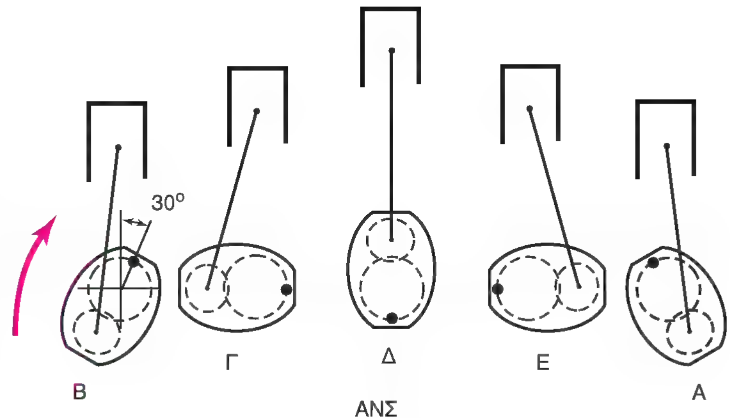
Ο έλεγχος της ευθυγραμμίσεως του στροφαλοφόρου γίνεται με μέτρηση της αποκλίσεώς του (deflection). Ως ***απόκλιση*** ορίζεται η μεταβολή στην απόσταση μεταξύ των παρειών του στροφάλου, μεταξύ διαφορετικών γωνιών του στροφαλοφόρου άξονα. Ορίζονται δύο διαφορετικά είδη αποκλίσεων, η οριζόντια και η κατακόρυφη, οι οποίες θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Μία από τις διαδικασίες που ακολουθούνται για

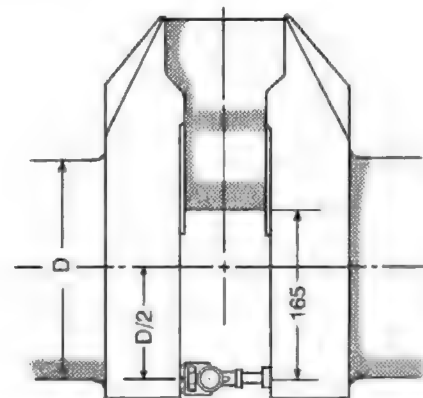
τη μέτρηση των αποκλίσεων, περιγράφεται στη συνέχεια (αναφέρεται σε ένα κομβίο, ενώ επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για κάθε κύλινδρο):

– Αρχικά ανοίγονται οι δυναμοδεικτικοί κρουνοί, για την ελεύθερη κίνηση των εμβόλων, ενώ ο στροφαλοφόρος στρέφεται με τον κρίκο.
– Το κομβίο του διωστήρα του εν λόγω κυλίνδρου τοποθετείται 30° μετά το ΚΝΣ (θέση Β, σχήμα 5.9ια).
– Μετρείται με τη χρήση ωρολογιακού μικρομέτρου (ή ηλεκτρονικού μικρομέτρου) η απόσταση μεταξύ των παρειών του στροφάλου στο επίπεδο συμμετρίας του στροφάλου και στην ευθεία που εφάπτεται της επιφάνειας των κομβίων βάσεως (σχ. 5.9ιβ και 5.9ιγ). Η θέση της μετρήσεως μπορεί να σημειώνεται πάνω στις παρειές του στροφάλου. Η μέτρηση αυτή λαμβάνεται ως βασική μέτρηση.
– Στη συνέχεια μετρείται διαδοχικά η ίδια απόσταση σε διαφορετικές όμως γωνίες στροφάλου (σχ. 5.9ια), με τη θέση Γ να είναι 90° πριν το ΑΝΣ, τη θέση Δ στο ΑΝΣ, τη θέση Ε 90° μετά το ΑΝΣ και τη θέση Α 30° πριν το ΚΝΣ (συμμετρική της θέσεως Β).
– Η οριζόντια απόκλιση ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μετρήσεως στη θέση Γ και της μετρήσεως στη θέση Ε, δηλαδή dH=Γ–Ε.
– Η κατακόρυφη απόκλιση ορίζεται ως η διαφορά της μετρήσεως στη θέση Δ (ΑΝΣ) με το μέσο όρο των μετρήσεων στις θέσεις Α και Β, δηλαδή dV=Δ–(Α+Β)/2.
– Εκτός από την οριζόντια και κατακόρυφη απόκλιση υπολογίζεται και η διαφορά των μετρήσεων (κυρίως στη θέση Β) από τις αρχικές μετρήσεις κατά την τοποθέτηση του στροφαλοφόρου άξονα. Η διαφορά θεωρείται θετική, όταν προκύπτει άνοιγμα της αποστάσεως μεταξύ των παρειών και αρνητική, όταν προκύπτει κλείσιμο της αποστάσεως μεταξύ των παρειών του στροφάλου.
– Γίνονται διαγράμματα των παραπάνω μετρήσεων για κάθε στρόφαλο με παράμετρο το χρόνο μετρήσεως, για να φαίνεται η πορεία μεταβολής της κάθε μετρήσεως.
– Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλους τους στροφάλους του στροφαλοφόρου άξονα.

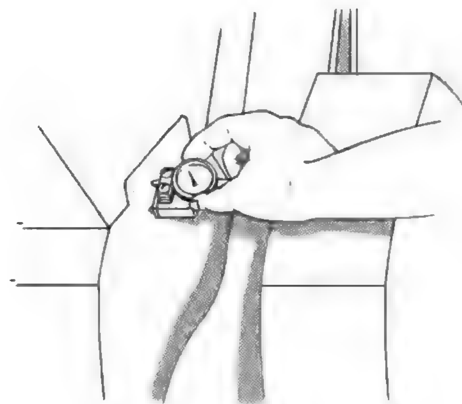
Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να τροποποιείται μεταξύ των κατασκευαστών. Ούτως ή άλλως περιγράφεται αναλυτικά στα εγχειρίδια των μηχανών.



Σχ. 5.9ια.
Σχηματικό διάγραμμα των διαδοχικών θέσεων του στροφάλου για να μετρηθεί η απόκλιση του στροφαλοφόρου άξονα. Με το μικρό μαύρο κύκλο σημειώνεται η θέση, όπου λαμβάνεται η μέτρηση.



Σχ. 5.9ιβ.
Η θέση τοποθετήσεως του μικρομέτρου στο επίπεδο συμμετρίας του στροφάλου για τη μέτρηση της αποκλίσεώς του.



Σχ. 5.9ιγ.
Τοποθέτηση του ωρολογιακού μικρομέτρου μεταξύ των βραχιόνων του στροφάλου για τη μέτρηση της αποκλίσεως του στροφαλοφόρου άξονα.

Η απόκλιση μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες φορτώσεως του πλοίου, οπότε κατά τις μετρήσεις που παίρνονται, πρέπει να αναγράφονται και οι συνθήκες φορτώσεως (έμφορτο ή άδειο πλοίο). Συνήθως ο κατασκευαστής ορίζει τις συνθήκες μετρήσεως.

Εάν η απόκλιση αυξάνεται συνεχώς σε κάθε καινούργια μέτρηση σε όλους του κυλίνδρους, πιθανές αιτίες είναι υπερβολική φθορά των κομβίων βάσεως ή κακή τοποθέτηση του στροφαλοφόρου (κακή σύσφιγξη κοχλιών εδράνων βάσεως). Αν η απόκλιση αυξάνεται μόνο σε ένα κύλινδρο, τότε πιθανότατα υπάρχει υπερβολική φθορά στα συγκεκριμένα κομβία βάσεως. Τα αποδεκτά όρια της αποκλίσεως και οι αναγκαίες ενέργειες κατά τη συντήρηση δίδονται από τους κατασκευαστές.

5.9.7 Ο σφόνδυλος.

Η στρεπτική ροπή που αναπτύσσει ο κινητήρας δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τη γωνία στροφάλου, μεταξύ ανώτερου και κατώτερου ορίου, τα οποία καθορίζονται από το σημείο λειτουργίας. Η ανθιστάμενη ροπή (από την έλικα του πλοίου) μπορεί να είναι σταθερή ή να μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση του στροφάλου. Γενικά η στιγμιαία τιμή της στρεπτικής ροπής του κινητήρα δεν συμπίπτει με την ανθιστάμενη ροπή, οπότε προκαλούνται στιγμιαίες επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις του κινητήρα.

Ορίζεται ως συμβατικός βαθμός ανομοιομορφίας της περιστροφής ο λόγος της διαφοράς μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης γωνιακής ταχύτητας προς τη μέση τιμή της γωνιακής ταχύτητας, δηλαδή:

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_m}$$

όπου ω_{max} η μέγιστη τιμή της ταχύτητας περιστροφής (για δεδομένο σημείο λειτουργίας), ω_{min} η ελάχιστη τιμή και ω_m η μέση τιμή, όπου:

$$\omega_m = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2}$$

Η επιτρεπόμενη τιμή της διακυμάνσεως της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής (δηλαδή του δ), καθορίζεται από το είδος του μηχανισμού που παίρνει κίνηση από τον κινητήρα. Αν η απαιτούμενη τιμή του δ είναι μικρότερη από την τιμή που δίνει ο κινητήρας, τότε πρέπει να αυξηθεί η ομοιομορφία της ταχύτητας περιστροφής. Αυτό πραγματοποιείται με την προσθήκη του σφονδύλου στο στροφαλοφόρο άξονα.

Ο σφόνδυλος είναι ένας χαλύβδινος δίσκος, ο οποίος αυξάνει τη ροπή αδράνειας των περιστρεφομένων μαζών (σχ. 5.9στ). Αποδεικνύεται ότι το δ είναι αντιστρόφως ανάλογο της ροπής αδράνειας των περιστρεφομένων μαζών, οπότε, όσο μεγαλύτερη είναι η ροπή αδράνειας του σφονδύλου (που εξαρτάται από το μέγεθός του), τόσο μικρότερο είναι το δ και τόσο ομαλότερη είναι η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της μηχανής.

Η απαιτούμενη τιμή του δ για αργόστροφες πετρελαιομηχανές με απ' ευθείας κίνηση της έλικας είναι της τάξεως του 1/3, ενώ για μεσόστροφες πετρελαιομηχανές με μειωτήρα στροφών, το δ πρέπει να παίρνει τιμές μεταξύ 1/8 και 1/10 (τιμές που αντιστοιχούν στη μικρότερη ταχύτητα περιστροφής). Η απαιτούμενη τιμή για γεννήτριες συνεχούς ρεύματος είναι μεταξύ 1/150 και 1/200, ενώ για γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος η απαιτούμενη τιμή είναι 1/300. Με βάση τις παραπάνω προδιαγραφές και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της μηχανής, προκύπτει το μέγεθος του σφονδύλου.

Προφανώς το μέγεθος του σφονδύλου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας της μηχανής. Οι πολυκύλινδρες μηχανές διαθέτουν μικρότερη ανομοιομορφία της στρεπτικής ροπής, οπότε χρειάζονται και μικρότερο σφόνδυλο. Οι δίχρονες μηχανές, επειδή έχουν μικρότερη αναλογία νεκρών χρόνων από τις τετράχρονες, φέρουν σφονδύλους μικρότερου μεγέθους. Με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής μικραίνει και το απαιτούμενο μέγεθος σφονδύλου. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του σφονδύλου, τόσο πιο αργή είναι η απόκριση της μηχανής στην αλλαγή των στροφών, λόγω της μεγάλης ροπής αδράνειας. Η απ' ευθείας σύνδεση με την έλικα των αργοστρόφων μηχανών μειώνει την ανάγκη για επίτευξη μεγάλης ομοιομορφίας της ίδιας της μηχανής. Αυτό συμβαίνει, γιατί η ίδια η έλικα, με τη μεγάλη ροπή αδράνειας που διαθέτει, λειτουργεί ως σφόνδυλος.

Ο σφόνδυλος φέρει συνήθως εξωτερική οδόντωση, για τη στρέψη του κινητήρα με το μηχανισμό στρέψεως (κρίκος).

5.9.8 Διάταξη στροφάλων.

Τα γόνατα που σχηματίζουν το στροφαλοφόρο άξονα δεν βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (σχ. 5.9ζ). Για να λειτουργεί ομαλά ο κινητήρας πρέπει κάθε κύλινδρος να βρίσκεται σε διαφορετική φάση, για

Αριθμός κυλίνδρων	Διάγραμμα στροφάλων	Σειρά αναφλέξεως	Αριθμός κυλίνδρων	Διάγραμμα στροφάλων	Σειρά αναφλέξεως
1		1	7		1-7-2-5-4-3-6
2		1-2	7		1-7-4-2-6-3-5
3		1-2-3	8		1-8-2-6-4-5-3-7 X = 36° 50΄ 0 = 53° 10΄
4		1-3-2-4	8		1-8-2-6-4-5-3-7
5		1-5-2-3-4	9		1-9-2-7-4-5-6-3-8
6		1, 6-3, 4-2, 5 Διπλή ανάφλεξη	9		1-9-4-3-7-5-2-8-6
6		1-5-2-4-3-6 Ανομοιόμορφη ανάφλεξη	10		1, 10-5, 6-2, 9-3, 8-4, 7 Διπλή ανάφλεξη
6		1-6-2-4-3-5	10		1-10-2-8-4-6-5-7-3-9
6		1-6-4-2-5-3	11		1-11-2-9-4-7-6-5-8-3-10
6		1-5-3-6-2-4	12		1-6-8-10-3-5-7-12-2-4-9-11

Σχ. 5.9ιδ.

Σειρά αναφλέξεως και διάταξη στροφάλων σε δίχρονες μηχανές με διάταξη εν σειρά, ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων.

να πραγματοποιείται διαδοχικά η παραγωγή έργου από κάθε κύλινδρο. Έτσι, την ίδια χρονική στιγμή κάθε κύλινδρος πρέπει να βρίσκεται σε διαφορετική γωνία στροφάλου. Παράλληλα, η σειρά, με την οποία πραγματοποιείται η ανάφλεξη του καυσίμου στους κυλίνδρους, πρέπει να είναι η κατάλληλη έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη κατανομή των φορτίσεων από την εκτόνωση των αερίων, καθώς και μείωση των ταλαντώσεων από τις παλινδρομούσες και περιστρεφόμενες μάζες.

Ονομάζομε ***γωνία αναφλέξεως*** τη διαφορά στη γωνία στροφάλου μεταξύ δύο κυλίνδρων που αναφλέγονται διαδοχικά. Οι κύλινδροι αυτοί συνήθως δεν είναι συνεχόμενοι, για τη μείωση των δυνάμεων στα έδρανα.

Στην περίπτωση που υπάρχουν ομοιόμορφα διαστήματα αναφλέξεως μεταξύ των κυλίνδρων (συνήθης περίπτωση), η γωνία αναφλέξεως δίδεται για τους δίχρονους κινητήρες ως:

$$\Delta\varphi_{\alpha} = \frac{360^{o}}{Z}$$

όπου Z ο αριθμός των κυλίνδρων,

ενώ για τους τετράχρονους κινητήρες δίδεται:

$$\Delta\varphi_{\alpha} = \frac{720^{o}}{Z}$$

αφού στους τετράχρονους κινητήρες ο κύκλος λειτουργίας διαρκεί δύο περιστροφές.

Ονομάζομε ***γωνία σφηνώσεως*** των στροφάλων τη μικρότερη γωνία μεταξύ των στροφάλων, όπως φαίνεται από τον καθρέπτη της μηχανής.

Στους δίχρονους κινητήρες σε σειρά η γωνία σφη-νώσεως των στροφάλων ισούται πάντα με τη γωνία αναφλέξεως. Έτσι, για ένα δίχρονο εξακύλινδρο σε σειρά κινητήρα, η γωνία σφηνώσεως είναι ίση με τη γωνία αναφλέξεως και προφανώς, ίση με 60°. Για σειρά αναφλέξεως 1-6-2-4-3-5, ο στρόφαλος του κυλίνδρου 6 διαφέρει κατά 60° από αυτόν του 1 κ.ο.κ (σχ. 5.9ιδ).

Στους τετράχρονους κινητήρες σειράς η γωνία σφηνώσεως των στροφάλων ισούται με το μισό της γωνίας αναφλέξεως, όταν ο αριθμός των κυλίνδρων είναι περιττός (σχ. 5.9ιε). Στην περίπτωση αυτή, κάθε στρόφαλος διχοτομεί τη γωνία των δύο απέναντι στροφάλων. Έτσι για έναν εννεακύλινδρο σε σειρά, τετράχρονο κινητήρα η γωνία αναφλέξεως προκύ-

z	Διάταξη στροφάλων	Σειρά αναφλέξεως	z	Διάταξη στροφάλων	Σειρά αναφλέξεως
3	1, 3, 2	1-2-3	6	1 6, 3-4, 2-5	1-3-5-6-4-2
4	1, 3, 4, 2	1-3-4-2	7	1, 7, 6, 2, 3, 5, 4	1-2-4-6-7-5-3
4	1 4, 2 3	1-3-4-2	8	1 8, 5 4, 6 3, 2 7	1-4-2-6-8-5-7-3
5	1, 5, 4, 2, 3	1-2-4-5-3	8	1 8, 5 4, 6 3, 2 7	1-5-7-3-8-4-2-6

Σχ. 5.9ιε.
Σειρά αναφλέξεως και διάταξη στροφάλων σε τετράχρονες μηχανές με διάταξη εν σειρά, ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων.

πτει ίση με 720°/9=80° και αντίστοιχα η γωνία σφηνώσεως ισούται με το μισό της, δηλαδή 40°. Η γωνία δηλαδή μεταξύ δύο στροφάλων που αντιστοιχούν σε κυλίνδρους, οι οποίοι αναφλέγονται διαδοχικά, είναι 80°. Η μικρότερη ωστόσο γωνία μεταξύ δύο στροφάλων είναι 40°.

Στην περίπτωση άρτιου αριθμού κυλίνδρων τετράχρονου εν σειρά κινητήρα, η γωνία σφηνώσεως ισούται με τη γωνία αναφλέξεως (σχ. 5.9ιε). Στην περίπτωση αυτή τα στρόφαλα συμπίπτουν ανά δύο. Έτσι, για οκτακύλινδρο τετράχρονο εν σειρά κινητήρα, η γωνία σφηνώσεως ισούται με τη γωνία αναφλέξεως και είναι ίση με 90°. Με σειρά αναφλέξεως 1-4-2-6-8-5-7-3, τα στρόφαλα 1-8, 5-4, 2-7, 6-3 συμπίπτουν στην ίδια γωνία στροφάλου (σχ. 5.9ιε).

Η ίδια σχέση ισχύει και για την περίπτωση των κινητήρων V, όπου όμως δεν χρησιμοποιείται ο αριθμός κυλίνδρων αλλά ο αριθμός στροφάλων που ισούται με Z/2 (αφού δύο κύλινδροι συνδέονται σε κοινό στρόφαλο). Σχετικά με τη διαδοχική ανάφλεξη των κυλίνδρων σε μια διάταξη τύπου V, επέρχεται διαφοροποίηση σε σχέση με την περίπτωση των εν σειρά κινητήρων. Πρέπει δηλαδή να ληφθεί υπόψη η απόσταση αναφλέξεως δ (ίση με τη γωνία του V), μεταξύ των κυλίνδρων που συνεργάζονται στον ίδιο στρόφαλο. Έτσι, οι διαδοχικές αποστάσεις αναφλέξεως των κυλίνδρων είναι:

$$\delta,\ \Delta\varphi_\alpha - \delta,\ \delta,\ \Delta\varphi_\alpha - \delta,\ \delta,\ \Delta\varphi_\alpha - \delta,\ \ldots$$

Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός δεκακύλινδρου κινητήρα V με γωνία δ=45°, έχομε:

Γωνία σφηνώσεως:

$$\Delta\varphi_\alpha = \frac{720^\circ}{Z/2} = \frac{720^\circ}{5} = 144^\circ$$

$$\Delta\varphi_\alpha - \delta = 144^\circ - 45^\circ = 99^\circ$$

Οι αποστάσεις αναφλέξεως συνεπώς δίδονται: 45°, 99°, 45°, 99°, 45°, 99°, 45°, 99°, 45°, 99°.

5.10 Εκκεντροφόρος άξονας (camshaft).

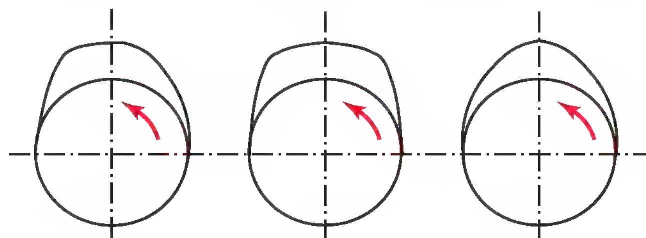
5.10.1 Γενικά.

Ο ***εκκεντροφόρος (κνωδακοφόρος) άξονας*** μεταδίδει την κίνηση για το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, ενώ παράλληλα μεταδίδει την κίνηση και σε βοηθητικούς μηχανισμούς (αντλίες καυσίμου, βαλβίδες αέρα εκκινήσεως, δυναμοδείκτη). Στις πετρελαιομηχανές συνήθως παίρνει κίνηση είτε με τη βοήθεια οδοντωτών τροχών από το στροφαλοφόρο άξονα, είτε με τη χρήση οδοντωτών τροχαλιών και αλυσίδων (καδένες). Το κύριο στοιχείο του εκκεντροφόρου άξονα είναι τα έκκεντρα (κνώδακες), τα οποία μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση του εκκεντροφόρου άξονα σε παλινδρομική κίνηση των ωστηρίων και των βαλβίδων. Η εκκεντρότητά τους καθορίζει το βύθισμα των βαλβίδων, η καμπυλότητά τους καθορίζει την ταχύτητα ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων και το χρόνο παραμονής σε ανοικτή θέση, ενώ η γωνία τοποθετήσεώς τους καθορίζει το χρονισμό των βαλβίδων (ή των βοηθητικών μηχανισμών) (σχ. 5.10α).

5.10.2 Κατασκευή εκκεντροφόρου άξονα.

Ο εκκεντροφόρος άξονας κατασκευάζεται με σφυρηλάτηση από χάλυβα υψηλής αντοχής (χρωμιονικελιούχο). Τα έκκεντρα υπόκεινται σε κατεργασία λειάνσεως και επιφανειακής σκληρύνσεως, για να μειωθούν οι φθορές λόγω της τριβής με τα ωστήρια. Στις μικρές μηχανές κατασκευάζεται συνήθως ολόσωμος, ενώ στις μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος κατασκευάζεται κατά τμήματα (σχ. 5.10β).

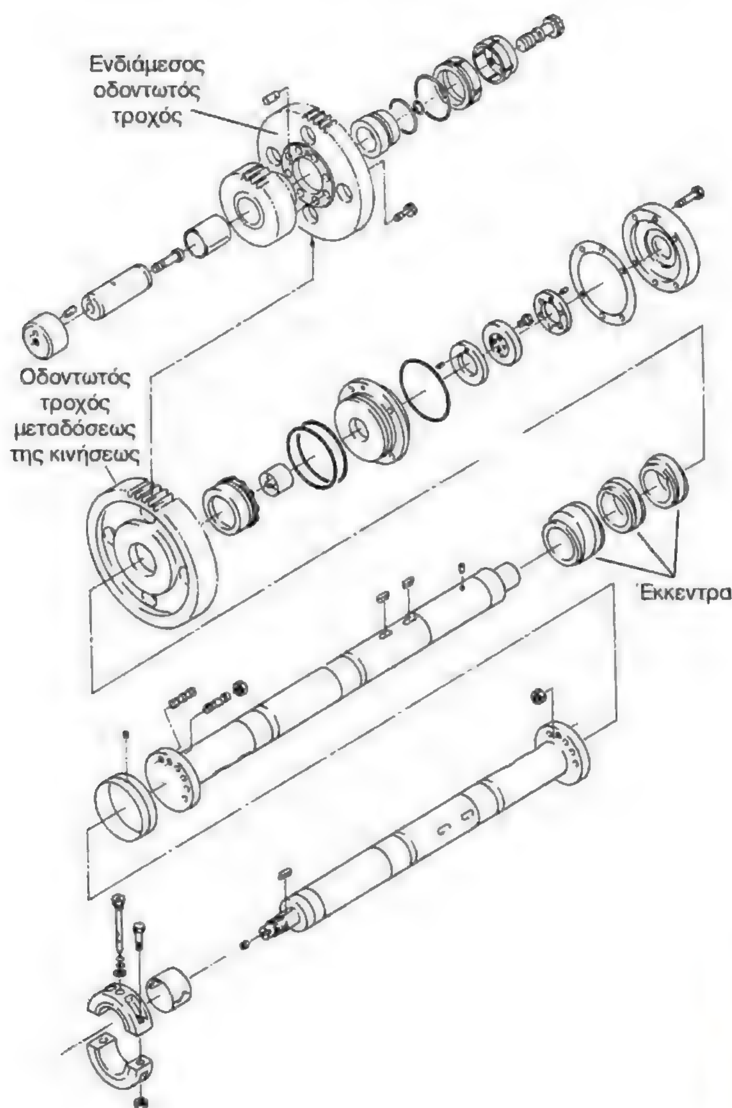
Συναντάται επίσης κατασκευή κεντρικού άξονα με σφηνόδρομους, όπου εφαρμόζονται περαστά τα έκκεντρα, με παράλληλη σύσφιγξη με τη βοήθεια κοχλιών (σχ. 5.10γ). Η τοποθέτηση των εκκέντρων στον κεντρικό άξονα μπορεί να γίνεται και με σφιχτή συναρμογή (με εφαρμογή διαφοράς θερμοκρασίας). Η αλλαγή της γωνίας σφηνώσεως του εκκέντρου επιτυγχάνεται με την προσαγωγή λαδιού υψηλής πιέσεως στην επιφάνεια επαφής εκκέντρου και άξονα (σχ. 5.10δ). Η τελευταία μέθοδος κατασκευής εφαρμόζεται κυρίως στα έκκεντρα των αντλιών εγχύσεως καυσίμου, έτσι ώστε με την αλλαγή της γωνιακής τους θέσεως να ρυθμίζεται η γωνία εγχύσεως του



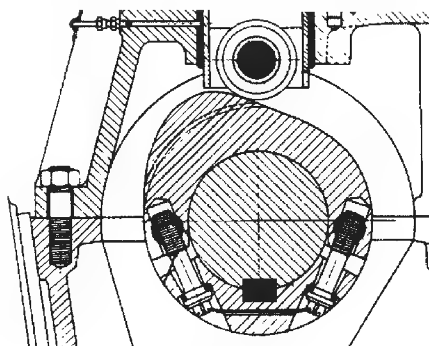
Σχ. 5.10α.
Σχηματική αναπαράσταση της μορφής τριών χαρακτηριστικών εκκέντρων. Το πρώτο αριστερά προκαλεί απότομο άνοιγμα και ομαλό κλείσιμο της βαλβίδας, το δεύτερο προκαλεί απότομο άνοιγμα και κλείσιμο με μεγάλο χρόνο παραμονής στο μέγιστο βύθισμα, ενώ το τρίτο δεξιά δίνει ομαλό άνοιγμα και κλείσιμο με μικρό χρόνο παραμονής στο μέγιστο βύθισμα. Και τα τρία διαθέτουν την ίδια ενεργή γωνία και το ίδιο μέγιστο βύθισμα.

καυσίμου. Συναντάται όμως και στα έκκεντρα των βαλβίδων εξαγωγής διχρόνων μηχανών. Η τοποθέτηση και η σύσφιγξη των εκκέντρων στον εκκεντροφόρο άξονα γίνεται από ειδικευμένα συνεργεία των εταιρειών κατασκευής.

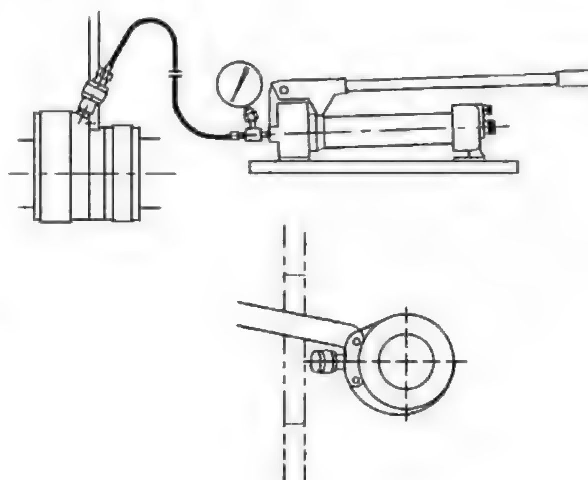
Η τμηματική κατασκευή του εκκεντροφόρου μπορεί να γίνεται και από όμοια τμήματα, τα οποία περιλαμβάνουν όλα τα έκκεντρα που αντιστοιχούν σε έναν κύλινδρο (έκκεντρο βαλβίδων εισαγωγής, έκκεντρο βαλβίδων εξαγωγής, έκκεντρο αντλίας καυσίμου, έκκεντρο δυναμοδείκτη). Τα όμοια αυτά τμήματα συνδέονται μεταξύ τους με μεγάλο αριθμό κοχλιών (σε διαφορετική γωνία για κάθε κύλινδρο), παρεμβάλλοντας τα ενδιάμεσα τμήματα του εκκεντροφόρου όπου γίνεται η έδραση (σχ. 5.10ε



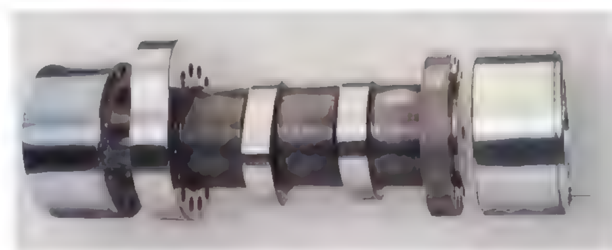
Σχ. 5.10β.
Σχέδιο συναρμολογήσεως εκκεντροφόρου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, όπου διακρίνονται τα έκκεντρα ενός κυλίνδρου, ο τρόπος συνδέσεως των ανεξαρτήτων τμημάτων του εκκεντροφόρου άξονα και η σύνδεση με τον οδοντωτό τροχό μεταδόσεως της κινήσεως. Στην κορυφή διακρίνεται αποσυναρμολογημένος ο ενδιάμεσος οδοντωτός τροχός.



Σχ. 5.10γ.
Σύνδεση του εκκέντρου της αντλίας καυσίμου στον εκκεντροφόρο, με χρήση σφήνας και κοχλιών συσφίγξεως.



Σχ. 5.10δ.
Γωνιακή μετακίνηση και ρύθμιση των εκκέντρων με χρήση υδραυλικής πιέσεως.



Σχ. 5.10ε.
Τμήμα εκκεντροφόρου άξονα τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, το οποίο αντιστοιχεί σε έναν κύλινδρο. Συνδέεται με τα τμήματα εδράσεώς του, ενώ διακρίνεται αριστερά το έκκεντρο της αντλίας καυσίμου και δεξιά τα δύο έκκεντρα των βαλβίδων.

και 5.10στ). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η αφαίρεση για έλεγχο, επισκευή ή αντικατάσταση, από τα πλάγια της μηχανής, μόνο του τμήματος του εκκεντροφόρου που αντιστοιχεί στον κύλινδρο που τυχόν παρουσιάζει πρόβλημα. Μειώνεται έτσι ο αναγκαίος χώρος μηχανοστασίου, ο χρόνος, καθώς και το κόστος επισκευής. Η έδραση του εκκεντροφόρου γίνεται σε έδρανα ολισθήσεως, σε πολλά σημεία κατά μήκος του (συνήθως ένα έδρανο ανάμεσα σε κάθε κύλινδρο και δύο ακραία), για να εκμηδενίζεται ο κίνδυνος στρεβλώσεως λόγω κάμψεως.

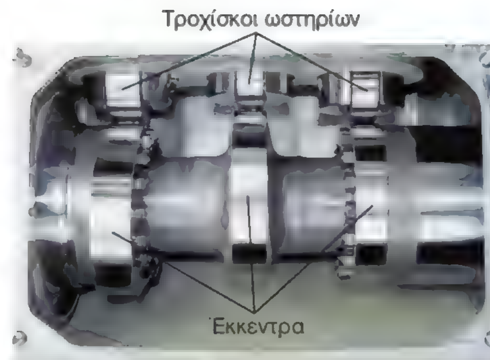
Οι αναστρεφόμενες μηχανές φέρουν διπλά έκκεντρα στον εκκεντροφόρο άξονα (σε επαφή μεταξύ τους), το ένα εκ των οποίων είναι για την πρόσω κίνηση και το δεύτερο για την κίνηση ανάποδα. Για την εμπλοκή του αντίστοιχου εκκέντρου με το ωστήριο, ο εκκεντροφόρος άξονας μετατοπίζεται αξονικά με εφαρμογή υδραυλικής πιέσεως σε έμβολο διπλής όψεως, κατά το σταμάτημα της μηχανής.

Για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μεσοστρόφων κινητήρων σε διαφορετικά φορτία και διαφορετικό αριθμό στροφών, χρησιμοποιούνται και μηχανικά συστήματα μεταβολής του χρονισμού των εκκέντρων (σχ. 5.10ζ). Με τη μετακίνηση κεκλιμένου πολύσφηνου στρέφεται γωνιακά ολόκληρος ο εκκεντροφόρος, αλλάζοντας το χρονισμό του συστήματος εγχύσεως (η μέθοδος εφαρμόζεται σε μηχανές με ξεχωριστό εκκεντροφόρο αντλιών καυσίμου). Η αλλαγή του χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής (ανάλογα με το φορτίο) γίνεται με αξονική μετακίνηση του εκκεντροφόρου, οπότε συμπλέκεται μια σειρά διαφορετικών εκκέντρων, όπως και στην περίπτωση των αναστρεφομένων μηχανών. Η μετακίνηση του εκκεντροφόρου γίνεται αυτόματα, κατά τη λειτουργία της μηχανής, με την εφαρμογή υδραυλικής πιέσεως, επί εμβόλου διπλής όψεως (σχ. 5.10η).

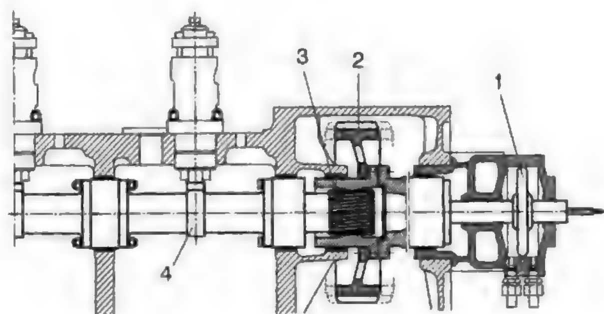
5.10.3 Μετάδοση κινήσεως.

Η σχέση μεταδόσεως της κινήσεως μεταξύ στροφαλοφόρου-εκκεντροφόρου είναι 2:1 για τις τετράχρονες μηχανές (δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου και μια περιστροφή του εκκεντροφόρου), ενώ για τις δίχρονες είναι 1:1. Αυτό γίνεται γιατί στις τετράχρονες μηχανές στις δύο περιστροφές που χρειάζεται να ολοκληρώσει ο στροφαλοφόρος για να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας, οι βαλβίδες ανοίγουν μια φορά, οπότε ο εκκεντροφόρος πρέπει να περιστραφεί μια φορά.

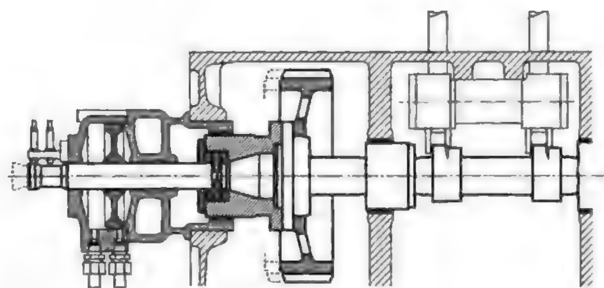
Οι εκκεντροφόροι είναι συνήθως τοποθετημέ-



Σχ. 5.10στ.
Διαιρετό τμήμα εκκεντροφόρου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής. Διακρίνονται οι τροχίσκοι των ωστηρίων που εφάπτονται στα αντίστοιχα έκκεντρα και οι κοχλίες συνδέσεως με τα γειτονικά τμήματα (με παρεμβολή των στοιχείων εδράσεως). Παρατηρήστε τη λείανση των επιφανειών επαφής.



Σχ. 5.10ζ.
Σύστημα μεταβολής χρονισμού του εκκεντροφόρου της αντλίας καυσίμου. Με την αξονική μετακίνηση του εμβόλου διπλής όψεως (1), μετακινείται ο συμπλέκτης (2) και αναγκάζει σε σχετική περιστροφή γύρω από τον άξονά του τον πλάγιο οδοντωτό τροχό (3), οπότε μετακινείται αντίστοιχα και το έκκεντρο (4). Με εφαρμογή υδραυλικής πιέσεως στην άλλη πλευρά του εμβόλου (1), επιστρέφει στην αρχική θέση.

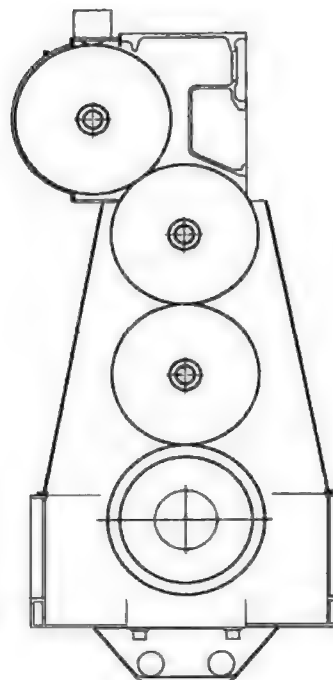


Σχ. 5.10η.
Σύστημα μεταβολής χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Με την εφαρμογή υδραυλικής πιέσεως, μετακινείται ο εκκεντροφόρος αξονικά και συμπλέκονται διαφορετικά (γειτονικά) έκκεντρα στους τροχίσκους.

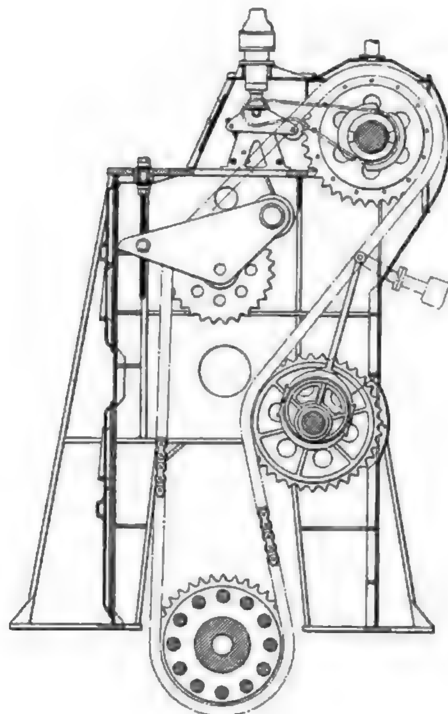
νοι στις μεσόστροφες και αργόστροφες πετρελαιομηχανές στα πλάγια της μηχανής. Στις αργόστροφες μηχανές συνήθως υπάρχει κοινός εκκεντροφόρος, τοποθετημένος στα πλάγια της μηχανής. Στις μεσόστροφες πετρελαιομηχανές τύπου V, κάθε μπλοκ κυλίνδρων μπορεί να έχει το δικό του εκκεντροφόρο άξονα για τον έλεγχο των βαλβίδων και των βοηθητικών μηχανισμών ή να υπάρχει κοινός εσωτερικός εκκεντροφόρος για τον έλεγχο των βαλβίδων και ξεχωριστοί εξωτερικοί εκκεντροφόροι για τους βοηθητικούς μηχανισμούς (αντλίες καυσίμου).

Η μετάδοση της κινήσεως στον εκκεντροφόρο άξονα από το στροφαλοφόρο γίνεται με τη χρήση οδοντωτών τροχών (σχ. 5.10θ) ή με τη χρήση αλυσίδας (σχ. 5.10ι). Οι οδοντωτοί τροχοί στις αργόστροφες μηχανές μικρού αριθμού κυλίνδρων και στις μεσόστροφες μηχανές βρίσκονται στον καθρέπτη της μηχανής, ενώ στις αργόστροφες μηχανές με πάνω από 7 κυλίνδρους βρίσκονται στο μέσον της μηχανής. Η μετάδοση της κινήσεως μπορεί να γίνεται με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών, ή με την παρεμβολή τρίτου ή και τέταρτου οδοντωτού τροχού, όταν η απόσταση μεταξύ εκκεντροφόρου και στροφαλοφόρου είναι μεγάλη, για τη μείωση του μεγέθους των οδοντωτών τροχών. Το σύστημα μεταδόσεως με γρανάζια είναι πιο ακριβό και με μεγαλύτερο βάρος από το σύστημα με αλυσίδες, παρέχει όμως μεγαλύτερη ασφάλεια, μικρότερο θόρυβο και μεγαλύτερη ακρίβεια λειτουργίας, καθώς και ευκολότερο τρόπο συναρμολογήσεως και σωστής επανατοποθετήσεως. Επίσης λόγω μικρότερου πλάτους των γραναζιών οδηγεί σε μηχανές μικρότερου συνολικού μήκους. Λόγω του μικρότερου αριθμού κινουμένων τμημάτων έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία, ενώ δεν υπάρχει κίνδυνος χαλαρώσεως με το χρόνο και απορρυθμίσεως του χρονισμού των βαλβίδων και των αντλιών καυσίμου. Επιπλέον, οι οδοντωτοί τροχοί δεν είναι ευαίσθητοι στις αξονικές ταλαντώσεις της μηχανής.

Η αλυσίδα (σχ. 5.10ι) δίνει τη σημαντική δυνατότητα τοποθετήσεως του εκκεντροφόρου άξονα μακριά από το στροφαλοφόρο, οπότε μειώνεται το μήκος των υδραυλικών κυκλωμάτων προς τις βαλβίδες εξαγωγής και τους εγχυτήρες καυσίμου (μειώνοντας αντίστοιχα τα σφάλματα χρονισμού που προκύπτουν σε αγωγούς μεγάλου μήκους, λόγω της έστω και μικρής ελαστικότητας των υγρών και των σωληνώσεων, καθώς και των ταλαντώσεων της πιέσεως που μεταδίδονται εντός του υγρού). Επίσης οι αλυσίδες είναι πρακτικά ανεπηρέαστες από την ύπαρξη ρινι-



Σχ. 5.10θ.
Μετάδοση της κινήσεως στον εκκεντροφόρο με χρήση οδοντωτών τροχών, σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή. Η σχέση μεταδόσεως είναι 1:1.



Σχ. 5.10ι.
Μετάδοση της κινήσεως στον εκκεντροφόρο με χρήση αλυσίδας, σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή. Η σχέση μεταδόσεως είναι 1:1.

σμάτων, σε αντίθεση με τους οδοντωτούς τροχούς. Παρόλ' αυτά, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη εντατήρων στην αλυσίδα, των οποίων η ρύθμιση είναι γενικά δυσχερής και για το λόγο αυτό πλέον ρυθμίζονται αυτόματα με τη χρήση υδραυλικής πιέσεως. Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση προστατευτικού καλύμματος της αλυσίδας για την ακραία περίπτωση αστοχίας της, οπότε τα τμήματά της μπορεί να σκορπίσουν εντός της μηχανής (τα τμήματα της αλυσίδας δεν είναι ευδιάκριτα, ειδικά σε συνθήκες μηχανοστασίου).

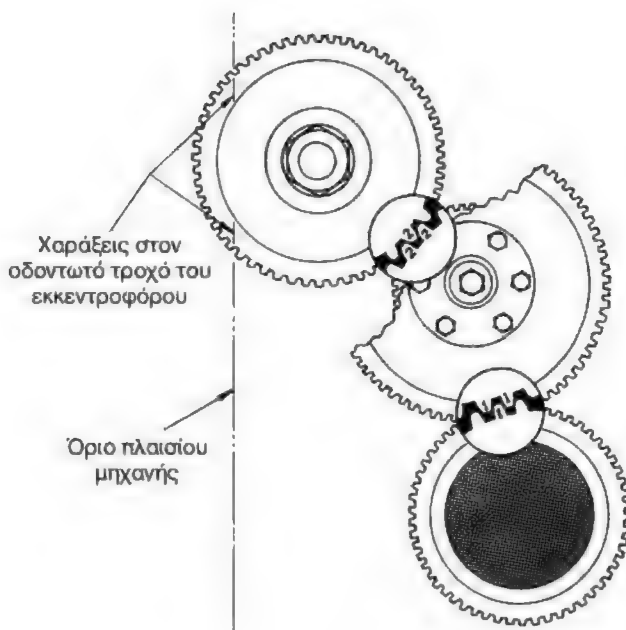
Με τη χρήση τεσσάρων οδοντωτών τροχών (σχ. 5.10θ), είναι δυνατή η μετακίνηση του εκκεντροφόρου κοντά στο πώμα, με επακόλουθη μείωση του μήκους των σωληνώσεων των υδραυλικών συστημάτων και των αγωγών προσαγωγής καυσίμου. Αποκτάται έτσι το αντίστοιχο πλεονέκτημα που δίνει η χρήση της αλυσίδας, και αποφεύγονται μειονεκτήματα όπως ο υψηλότερος θόρυβος, η ελαστική επιμήκυνση στις επιταχύνσεις, η φθορά των εντατήρων κ.λ.π. Το αρνητικό αποτέλεσμα της παραπάνω σχεδιάσεως είναι η αύξηση στο βάρος και στην πολυπλοκότητα της μηχανής.

Σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται κινητήρες (αργόστροφοι και μεσόστροφοι) χωρίς εκκεντροφόρο (και συνεπώς χωρίς σύστημα μεταδόσεως της κινήσεως). Ο έλεγχος των βαλβίδων και των βοηθητικών μηχανισμών γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο και με υδραυλική επενέργηση. Έτσι δίδεται η δυνατότητα ελέγχου κάθε κυλίνδρου ξεχωριστά, ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους, οδηγώντας σε ομαλότερη και πιο βελτιστοποιημένη λειτουργία της μηχανής, με αντίστοιχη μείωση του βάρους και της μηχανικής πολυπλοκότητας της κατασκευής.

5.10.4 Ρυθμίσεις εκκεντροφόρου άξονα.

Για τη σωστή λειτουργία του κινητήρα πρέπει να εξασφαλισθεί ο συγχρονισμός λειτουργίας μεταξύ του εκκεντροφόρου και του στροφαλοφόρου άξονα, έτσι ώστε οι βαλβίδες να ανοίγουν και να κλείνουν την κατάλληλη στιγμή, ανάλογα με τη θέση του εμβόλου και να πραγματοποιείται η έγχυση του καυσίμου την κατάλληλη χρονική στιγμή. Ο συγχρονισμός αυτός ονομάζεται ***εσωτερικός χρονισμός***.

Για να επιτυγχάνεται εύκολα και γρήγορα ο εσωτερικός χρονισμός από τους μηχανικούς, οι κατασκευαστές χαράσσουν επάνω στους οδοντωτούς τροχούς του εκκεντροφόρου και του στροφαλοφόρου χαρακτηριστικά σημάδια (σχ. 5.10ια). Ο μηχανικός κατά την τοποθέτηση των γραναζιών, πρέπει να προσέξει ώστε τα σημάδια αυτά να συμπίπτουν μεταξύ τους, αφού τοποθετηθεί ο στροφαλοφόρος στη σωστή γωνία που ορίζει ο κατασκευαστής. Αν τα γρανάζια βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους, τότε εκτός από τα σημάδια που υπάρχουν στα γρανάζια, υπάρχουν αντίστοιχα σημάδια και σε σταθερά σημεία της μηχανής κοντά στα γρανάζια. Στην περίπτωση αυτή πρέπει τα σημάδια των γραναζιών να συμπίπτουν με τα αντίστοιχα σταθερά σημάδια του κινητήρα. Το ίδιο γίνεται και στην περίπτωση των τροχαλιών των αλυσίδων.



Σχ. 5.10ια.
Σήμανση των οδοντωτών τροχών μεταδόσεως της κινήσεως στον εκκεντροφόρο για τον εσωτερικό χρονισμό της μηχανής. Εκτός των χαρακτηριστικών αριθμών πάνω στους οδοντωτούς τροχούς υπάρχουν και χαράξεις, για την ευθυγράμμιση με το πλαίσιο της μηχανής.

5.11 Τριβείς.

Οι τριβείς είναι κυλινδρικοί μεταλλικοί δακτύλιοι, οι οποίοι τοποθετούνται μεταξύ των εδράνων και των περιστρεφομένων κομβίων ή πείρων, για τη μείωση της τριβής και την προστασία των περιστρεφομένων επιφανειών (σχ. 5.11α και 5.11β). Παράλληλα έχουν και μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, για να διευκολύνεται η απαγωγή θερμότητας που παράγεται κατά την τριβή. Είναι συνήθως διαιρούμενοι σε δύο ημικελύφη και κατασκευάζονται πάντα από υλικό αρκετά μικρότερης σκληρότητας από το υλικό της συνεργαζόμενης επιφάνειας

του κομβίου (ή του πείρου), για να φθείρονται οι τριβείς που αντικαθίστανται εύκολα και όχι τα κομβία. Για να μπορέσουν να αντέχουν στις ισχυρές δυνάμεις εδράσεως, διαθέτουν αρκετά μεγάλη επιφάνεια επαφής, έτσι ώστε οι αντίστοιχες επιφανειακές πιέσεις να είναι μικρές. Αυτό πραγματοποιείται με αύξηση της διαμέτρου των κομβίων και του πλάτους των τριβέων. Η μείωση των τάσεων στους τριβείς μειώνει την καταπόνηση και τη φθορά τους. Η κατασκευή τους γίνεται από ειδικά κράματα σε διαδοχικές επιστρώσεις ώστε να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα αυξημένη αντοχή και μειωμένες τριβές.

α) Κύριοι τριβείς βάσεως.

Οι κύριοι τριβείς βάσεως είναι διαιρούμενοι και τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλες υποδοχές των εξωτερικών ημικελύφων των εδράνων. Τα ημικελύφη συνδέονται με ειδικούς κοχλίες στα εγκάρσια διαφράγματα του σκελετού της μηχανής. Η ροπή συσφίγξεως των κοχλιών που συνδέουν τα ημικελύφη καθορίζεται από τον κατασκευαστή, ενώ η σύσφιγξη πραγματοποιείται με υδραυλικές συσκευές (ή ειδικά ροπόκλειδα στις μικρότερες μηχανές) και με προδιαγεγραμμένη διαδικασία, για την επίτευξη της ευθυγραμμίσεως του στροφαλοφόρου.

Μεταξύ των ημικελύφων των εδράνων σε μερικούς τύπους αργοστρόφων μηχανών τοποθετούνται λεπτά ελάσματα (προσθήκες), τα οποία μετά από ορισμένο χρόνο λειτουργίας αφαιρούνται σταδιακά, για να εξισορροπηθεί η φθορά των τριβέων και να διατηρείται το διάκενο μεταξύ τριβέων και κομβίου σχεδόν σταθερό.

Η δημιουργία της λιπαντικής μεμβράνης στους τριβείς βάσεως είναι σχετικά ευκολότερη από αυτή των υπολοίπων τριβέων, λόγω της περιστροφικής κινήσεως του στροφαλοφόρου, η οποία ευνοεί το σχηματισμό της υδροδυναμικής σφήνας λαδιού.

Στις αργόστροφες μηχανές κατασκευάζονται από εξωτερικό χαλύβδινο έλασμα με επίστρωση λευκού μετάλλου (κράμα κασσιτέρου-χαλκού 3,3% - αντιμονίου 7,5%) ή κράμα αλουμινίου-κασσιτέρου σε σχετικά μεγάλο πάχος (σχ. 5.11α). Σε σχέση με το δεύτερο, το πρώτο προσφέρει καλύτερη συμπεριφορά στην περίπτωση κακής τοποθετήσεως, στην είσοδο ρινισμάτων μεταξύ των τριβομένων επιφανειών και στην απόξεση. Το δεύτερο προσφέρει καλύτερη αντοχή στη διάβρωση. Τα έδρανα αυτά επιδέχονται λείανση και ανακατασκευή από ειδικά συνεργεία.

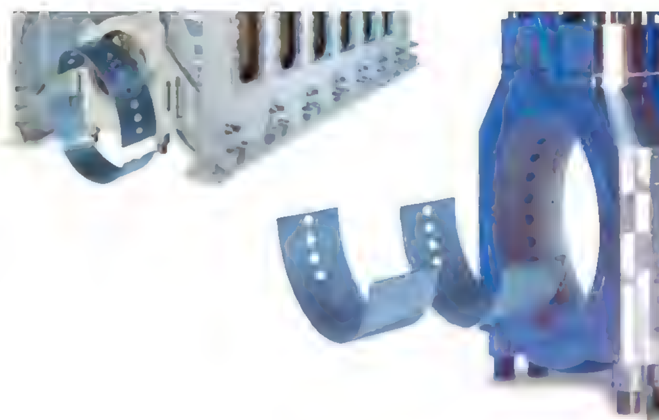
Στις μεσόστροφες μηχανές κατασκευάζονται συνήθως από εξωτερικό χαλύβδινο έλασμα με επίστρωση κράματος χαλκού-μολύβδου και επιφανειακή επίστρωση από κράμα κασσιτέρου-αντιμονίου για την προστασία του μολύβδου από τη διάβρωση, λόγω της παρουσίας του θείου στο βαρύ πετρέλαιο (σχ. 5.11β και 2.10α). Έχουν μικρότερο πάχος από τους αντίστοιχους τριβείς των αργοστρόφων μηχανών, αλλά και μεγαλύτερη ακρίβεια κατασκευής και λειτουργίας. Τα έδρανα αυτά δεν επιδέχονται αναγόμωση ή λείανση.

β) Τριβείς ποδιού διωστήρων.

Στις μεσόστροφες μηχανές, οι τριβείς κατασκευάζονται σε δύο ημικελύφη με πολλαπλές μεταλλικές επιστρώσεις (σχ. 2.10β). Φέρουν οπές για την προσαγωγή του λιπαντικού και κεντρικό αύλακα για τη διανομή του σε όλη την εσωτερική επιφάνεια επαφής. Ως βάση για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται λεπτός χαλύβδινος δακτύλιος, πάνω στον οποίο εφαρμόζονται εσωτερικά διαδοχικές επιστρώσεις κράματος χαλκού-μολύβδου ή αλουμινίου-κασσιτέρου, νικελίου και τέλος κασσιτέρου αντιμονίου ή μο-



Σχ. 5.11α.
Τριβέας βάσεως δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής.



Σχ. 5.11β.
Τριβείς βάσεως και κομβίου διωστήρα μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

λύβδου-κασσιτέρου ή μολύβδου-ινδίου. Η τελευταία εσωτερική μεμβράνη έχει μικρό πάχος και τοποθετείται συνήθως για το αρχικό στρώσιμο των εδράνων. Στους κινητήρες που λειτουργούν με βαρύ πετρέλαιο δεν χρησιμοποιούνται κράματα μολύβδου, επειδή ο μόλυβδος προσβάλλεται από το θείο και μειώνεται η ωφέλιμη ζωή των εδράνων. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν κράματα χαλκού-μολύβδου, οι τριβείς καλύπτονται από ειδικά κράματα προστατευτικά για τη διάβρωση.

Οι τριβείς στα κομβία διωστήρα των αργοστρόφων μηχανών κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο με εκείνους στα κομβία βάσεως, με μικρότερο όμως πάχος.

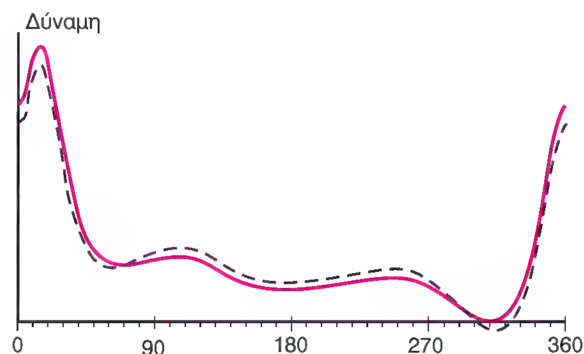
*γ) **Τριβείς κεφαλής διωστήρων.***

Τα έδρανα της κεφαλής του διωστήρα εκτελούν παλινδρομική κίνηση και όχι περιστροφική, οπότε είναι πολύ δυσκολότερη η λίπανσή τους σε σχέση με τα πλήρως περιστρεφόμενα έδρανα (όπως είναι τα έδρανα βάσεως). Στις τετράχρονες μηχανές η φόρτιση του εδράνου στην κεφαλή του διωστήρα αντιστρέφει φορά κατά τη φάση της αναρροφήσεως, διευκολύνοντας έτσι τη δημιουργία σφήνας λιπάνσεως μεταξύ του τριβέα και του πείρου του εμβόλου.

Αντίθετα, στις δίχρονες μηχανές, το έδρανο του ζυγώματος φορτίζεται πάντα προς τα κάτω (σχ. 5.11γ), οπότε είναι πολύ δυσκολότερη η λίπανσή του. Η φόρτιση αυτή (η οποία οφείλεται τόσο στις δυνάμεις πιέσεως, όσο και στις αδρανειακές δυνάμεις) μεταβάλλεται με το φορτίο της μηχανής και κατά τη διάρκεια του κύκλου, με τη μικρότερη φόρτιση να σημειώνεται περίπου 50^{o} πριν το ΑΝΣ (σχ. 5.11γ). Στο σημείο αυτό, λόγω της πολύ μικρής φορτίσεως, η πίεση του λαδιού είναι εύκολο να συγκρατήσει τη λιπαντική μεμβράνη μεταξύ κομβίου ζυγώματος και τριβέων.

Κατά την παλινδρόμηση του διωστήρα, αλλάζει η φορά κινήσεως του διωστήρα ως προς το αντίστοιχο κομβίο, στο μέσον της αποστάσεως μεταξύ ΑΝΣ και ΚΝΣ. Στις τελευταίες θέσεις η σχετική γωνιακή ταχύτητα του διωστήρα ως προς το κομβίο μηδενίζεται στιγμιαία και αλλάζει φορά. Εκεί θα έπρεπε λογικά να υπάρχει το μεγαλύτερο πρόβλημα λιπάνσεως, αλλά επειδή δεν εμφανίζεται εκεί το μέγιστο φορτίο, η προϋπάρχουσα λιπαντική μεμβράνη (συντηρούμενη από την πίεση του λαδιού) μπορεί να διατηρηθεί και να αποτρέψει την επαφή του κομβίου ζυγώματος με τους τριβείς. Μάλιστα κατά τη φάση ανόδου, σχεδόν στο μέσον της διαδρομής του εμβόλου, όπως ήδη αναφέρθηκε, εμφανίζεται το μικρότερο φορτίο. Στο ΚΝΣ εμφανίζεται η μικρότερη φόρτιση λόγω πιέσεων. Η παρουσία όμως των αδρανειακών δυνάμεων αυξάνει τη φόρτιση, η οποία όμως και πάλι είναι γενικά χαμηλή, οπότε δεν εμφανίζεται ιδιαίτερο πρόβλημα λιπάνσεως.

Η μεγαλύτερη φόρτιση στις δίχρονες μηχανές εμφανίζεται λίγο μετά το ΑΝΣ (σχ. 5.11γ), όπου το βάκτρο, ο διωστήρας και ο στρόφαλος βρίσκονται σχεδόν στην ίδια ευθεία, ενώ το σύνολο της δυνάμεως της εκτονώσεως (μείον τις αδρανειακές δυνάμεις) παραλαμβάνεται από το κομβίο του ζυγώματος. Για να μπορέσει να διατηρηθεί η μεμβράνη λιπάνσεως απαιτείται η προσαγωγή του λιπαντικού με υψηλή πίεση, ενώ πρέπει να γίνεται και κατά το δυνατόν ομοιόμορφη διανομή του σε όλη την επιφάνεια του τριβέα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση συχνά ξεχωριστού κυκλώματος προσαγωγής λαδιού στο έδρανο του ζυγώματος, το οποίο παρέχει την αναγκαία υδροστατική πίεση για τη διατήρηση του πάχους της λιπαντικής μεμβράνης (δεν επιτυγχάνεται υδροδυναμική λίπανση με τη δημιουργία σφήνας λαδιού, αλλά κυρίως υδροστατική λίπανση). Επίσης η επιφάνεια του τριβέα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, κάτι που επιτυγχάνεται με αύξηση της διαμέτρου των κομβίων του ζυγώματος και του πλάτους των τριβέων. Επίσης, στην κάτω πλευρά του κομβίου τοποθετείται ενιαίος ημιτριβέας που καλύπτει όλο το μήκος του κομβίου [σε αντίθεση με την άνω πλευρά, όπου παρεμβάλλεται το βάκτρο, οπότε τοποθετούνται δύο ανεξάρτητοι ημιτριβείς μικρότερου συνολικού πλάτους (σχ. 5.7στ)]. Με τον τρόπο αυτό, μειώνονται οι πιέσεις στην επιφάνεια επαφής και μειώνεται ο κίνδυνος καταστροφής της λιπαντικής μεμβράνης και



Σχ. 5.11γ.
Μεταβολή της συνολικής δυνάμεως (αδρανειακή και αερίων) στο κομβίο ζυγώματος δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής, σε δύο διαφορετικά σημεία λειτουργίας.

αποξέσεως της επιφάνειας των τριβέων.

Υπάρχουν μηχανές, όπου το κομβίο του ζυγώματος κατασκευάζεται με εκκεντρότητα, για τη διευκόλυνση στη λίπανση του τριβέα του ζυγώματος (σχ. 5.7ε).

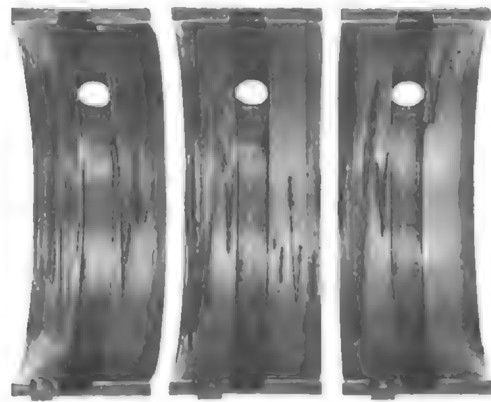
Οι τριβείς του κομβίου του ζυγώματος κατασκευάζονται συνήθως με μικρό σχετικά πάχος, χαλύβδινη εξωτερική επιφάνεια για αυξημένη αντοχή και επίστρωση λευκού μετάλλου. Η κατασκευή τους γίνεται με φυγοκεντρική χύτευση. Η εσωτερική τους επιφάνεια είναι κατεργασμένη με μικρές ανοχές (όπως και η αντίστοιχη επιφάνεια του κομβίου), για να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες στιγμιαίας επαφής των δύο επιφανειών και εκτριβής του υλικού του τριβέα. Οι ημιτριβείς διαθέτουν αύλακες στην κεντρική περιοχή της επιφάνειας τριβής, οι οποίοι ενώνονται με αντίστοιχους αξονικούς, για την ομοιόμορφη διανομή του λιπαντικού σε ολόκληρη την εσωτερική τους επιφάνεια του κάτω ημιτριβέα. Το εμβαδόν των εσωτερικών αυλακώσεων διατηρείται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερες τιμές, για να μη μειώνεται το ωφέλιμο εμβαδόν των τριβέων και να μην αυξάνονται οι ασκούμενες πιέσεις. Οι μέγιστες πιέσεις που ασκούνται στους τριβείς είναι της τάξεως των 130 έως 145 bar.

δ) Φθορές.

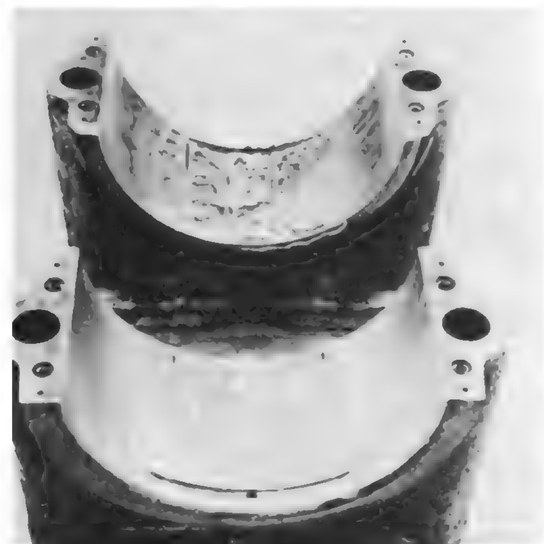
Μεταξύ των τριβέων και του αντίστοιχου κομβίου πρέπει να υπάρχει ακτινικό διάκενο για την παραλαβή των διαστολών και κυρίως για το σχηματισμό της λιπαντικής μεμβράνης. Η φθορά μειώνει το πάχος των τριβέων και αυξάνει το διάκενο μεταξύ τριβέων και συνεργαζόμενης επιφάνειας. Η υπερβολική αύξηση του διακένου προκαλεί σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία της μηχανής, λόγω της κρουστικής λειτουργίας του μηχανισμού κινήσεως, της πτώσεως της πιέσεως του λιπαντικού λόγω πλαγίων διαρροών και συνεπώς της αδυναμίας δημιουργίας της απαραίτητης λιπαντικής μεμβράνης. Με την αύξηση του διακένου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφανίσεως σπηλαιώσεως, η οποία καταστρέφει την επιφάνεια του τριβέα και του κομβίου. Η βέλτιστη τιμή του διακένου καθορίζεται συνήθως εμπειρικά, είναι δε μεγαλύτερη από το 1/1000 της διαμέτρου του εδράνου.

Η παρουσία σκληρών ρινισμάτων εντός του λιπαντικού προκαλεί την απόξεση της επιφάνειας του τριβέα (σχ. 5.11δ). Σκληρά ρινίσματα συνήθως αποκολλώνται από τη σκληρυμένη επιφάνεια των κομβίων (χάλυβας με νιτρίδια). Τα τμήματα που αποξένονται, λόγω πλαστικής παραμορφώσεως σκληραίνουν, προκαλώντας δευτερεύουσες φθορές. Η κακή τραχύτητα της επιφάνειας του κομβίου μπορεί να προκαλέσει επαφή των δύο επιφανειών και απόξεση του τριβέα.

Η μείωση του πάχους των τριβέων αυξάνει την πιθανότητα καταστροφής τους. Η πιθανότητα καταστροφής τους αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου λειτουργίας του τριβέα και λόγω της σκληρύνσεώς του (αλλαγή της κρυσταλλικής του δομής). Ολική καταστροφή του τριβέα σπάνια παρατηρείται (σχ. 5.11ε). Μπορεί να είναι αποτέλεσμα συνδυασμού υψηλού φορτίου, αναπτύξεως υψηλής θερμοκρασίας (π.χ. από κακή λίπανση) και ακαταλληλότητας του



Σχ. 5.11δ.
Φθορά τριβέα από ρινίσματα σκληρού μετάλλου (χάλυβας με νιτρίδια από την επιφάνεια του κομβίου του στροφαλοφόρου άξονα).



Σχ. 5.11ε.
Καταστροφή τριβέα ζυγώματος λόγω συνδυασμού υψηλής φορτίσεως και υπερθερμάνσεως από κακή λίπανση.

υλικού του τριβέα (ή ελαττωματικής κατασκευής του).

Η καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης (λόγω διακοπής ή μειώσεως της παροχής λαδιού, παρουσίας γρεζιών στο λιπαντικό, αυξήσεως της θερμοκρασίας και μειώσεως του ιξώδους του, πτώσεως της πιέσεως, κρουστικών φορτίων ή υπερβολικής φθοράς των τριβέων ή του κομβίου) έχει ως αποτέλεσμα την επαφή των τριβομένων μετάλλων (άρπαγμα τριβέων), με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας, την καταστροφή των μαλακών μετάλλων του τριβέα, αλλά και την υπέρμετρη αύξηση της φθοράς των κομβίων. Η αύξηση, της θερμοκρασίας του λιπαντικού και των τριβομένων επιφανειών προκαλεί τήξη των πιο ευτήκτων ουσιών των τριβέων και σημαντική αύξηση της φθοράς τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να είναι αποτέλεσμα αποτυχίας σχηματισμού της λιπαντικής μεμβράνης, μεγάλου ή μικρού διακένου, μετατοπίσεως ή κακής τοποθετήσεως του εδράνου, προβλήματος στο κύκλωμα λιπάνσεως, ή προβλήματος σε κάποιο άλλο έδρανο.

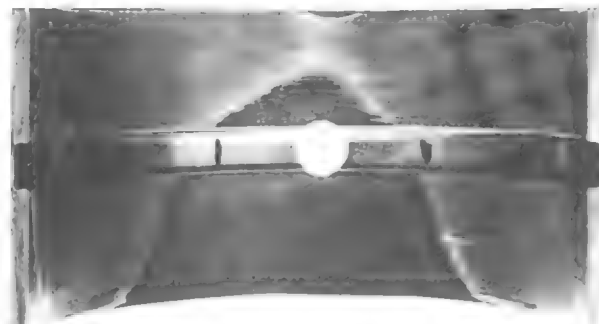
Συχνά η κακή τοποθέτηση είναι η κύρια αιτία φθοράς των εδράνων. Η κακή τοποθέτηση μπορεί να περιλαμβάνει φρακάρισμα των οπών λιπάνσεως, απώλεια επαφής της πλάτης του τριβέα με το έδρανο, κακή σύσφιγξη των κοχλιών ή κακή ρύθμιση του διακένου. Η κακή τοποθέτηση των τριβέων (κυρίως στην κεφαλή του διωστήρα) προκαλεί την εισροή λαδιού μεταξύ των δύο επιφανειών, μειώνοντας την απαγωγή θερμότητας και μικραίνοντας το διάκενο. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η θερμοκρασία και κινδυνεύει με καταστροφή ο τριβέας. Η κακή ευθυγράμμιση κατά την τοποθέτηση του στροφαλοφόρου άξονα προκαλεί ταχύτατες φθορές στους τριβείς των εδράνων βάσεως, με αποτέλεσμα τη σύντομη καταστροφή τους (σχ. 5.11στ).

Η υπερβολική και ειδικά η ανομοιόμορφη φθορά των τριβέων βάσεως του στροφαλοφόρου άξονα, προκαλεί κάμψη του στροφαλοφόρου και αύξηση των τάσεων και των ταλαντώσεων που τον καταπονούν. Η μέτρηση της κάμψεως του στροφαλοφόρου, γίνεται με μέτρηση της αποκλίσεως των παρειών του κάθε στροφάλου από την αρχική τιμή τους (deflection), όπως ήδη έχει αναφερθεί. Η κάμψη του στροφαλοφόρου επιτείνει και επιταχύνει δραματικά τη φθορά των τριβέων.

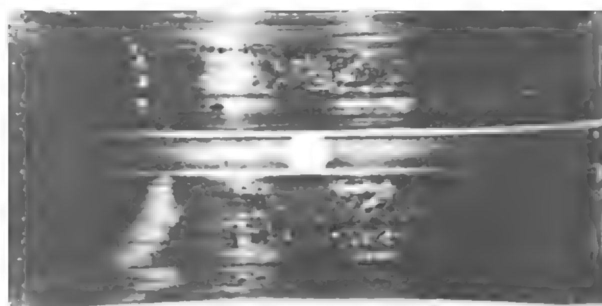
Ειδικά οι τριβείς των τετραχρόνων μηχανών, που περιέχουν κράματα μολύβδου, κινδυνεύουν από διάβρωση, λόγω της παρουσίας του θείου στα βαρέα πετρέλαια. Το λιπαντικό εντός του χιτωνίου παρασύρει ενώσεις του θείου που προσβάλλουν το μόλυβδο των τριβέων και τον διαβρώνουν. Ως αποτέλεσμα μειώνεται ανομοιόμορφα το πάχος των τριβέων και καταστρέφεται η λιπαντική μεμβράνη. Ο μόλυβδος όμως προσβάλλεται και από οργανικά οξέα που έχουν σχηματιστεί στο γηρασμένο λιπαντικό ή από την εισαγωγή νερού στο λιπαντικό με αντιοξειδωτικά πρόσθετα. Με την προσβολή του ο μόλυβδος γίνεται πορώδης, οπότε δεν αντέχει στα μηχανικά φορτία που καταπονούν τον τριβέα (σχ. 5.11ζ).

Τα κράματα του αλουμινίου είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στο λάδι, όταν ωστόσο έρθουν σε επαφή με το νερό (που πιθανώς έχει εισέλθει στο σύστημα λιπάνσεως) σχηματίζεται επιφανειακό οξείδιο του αλουμινίου (ιδιαίτερα σκληρό), το οποίο σε συνδυασμό με τη διάβρωση του χαλύβδινου κελύφους του τριβέα, προκαλεί μείωση του διακένου.

Τα λευκά μέταλλα (με βάση τον κασσίτερο) διαβρώνονται εξαιτίας της παρουσίας νερού στο λιπαντικό, σχηματίζοντας επιφανειακά στρώματα οξειδίου του κασσιτέρου, τα οποία στη συνέχεια προκαλούν μείωση του διακένου και αύξηση της θερμοκρασίας. Επειδή είναι ψαθυρά, αποκολλώνται από την επιφάνεια του τριβέα και, κινούμενα μεταξύ των επιφανειών, προκαλούν αποξέσεις υλικού.



Σχ. 5.11στ.
Φθορά τριβέα βάσεως λόγω κακής ευθυγραμμίσεως του στροφαλοφόρου.



Σχ. 5.11ζ.
Διάβρωση του μολύβδου από την ύπαρξη οξειδίων του θείου.

Από ελαττωματική κατασκευή ή επισκευή των τριβέων είναι δυνατόν να παρατηρηθεί αποκόλληση των επιστρώσεων ή σπάσιμο του τριβέα. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να αντικατασταθεί άμεσα ο τριβέας. Σε περίπτωση καθυστερήσεως υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του κομβίου.

Σημαντικός παράγοντας για την αύξηση της διάρκειας ζωής των τριβέων είναι η ποιότητα του λαδιού (σύνθεση, καθαρότητα και ιξώδες), η σωστή πίεση λειτουργίας (για τη διατήρηση της λιπαντικής μεμβράνης) και η σωστή θερμοκρασία του λαδιού. Αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού προκαλεί μείωση του ιξώδους του και συνεπώς, διευκολύνεται η διαρροή του, οπότε μειώνεται το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης.

ε) Μέτρηση διακένου.

Η μέτρηση του διακένου μεταξύ του κομβίου και των τριβέων πραγματοποιείται στα χρονικά διαστήματα που ορίζει ο κατασκευαστής. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με τις ακόλουθες εναλλακτικές μεθόδους:

– Εξαγωγή των τριβέων και μέτρηση του πάχους τους με μικρόμετρο.
– Χρησιμοποίηση λεπτού σύρματος μολύβδου, το οποίο μετά τη λύση του εδράνου, τοποθετείται μεταξύ του κομβίου και του τριβέα και στη συνέχεια επανασυναρμολογείται το έδρανο και συσφίγγονται οι κοχλίες του μέχρι την προβλεπόμενη ροπή. Με τη λύση του εδράνου αφαιρείται το μολυβόσυρμα, το οποίο έχει συμπιεστεί και μετρείται το πάχος του, το οποίο ισούται με το πάχος του διακένου.
– Μετά την αφαίρεση του στροφαλοφόρου και την επανασυναρμολόγηση του εδράνου, μετράται η εξωτερική διάμετρος του κομβίου και η εσωτερική διάμετρος των τριβέων. Η διαφορά των δύο διαμέτρων δίνει το υπάρχον διάκενο. Η μέθοδος είναι η πιο ακριβής, αλλά πρακτικά μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε μικρές μηχανές.

Τα πλευρικά διάκενα των τριβέων βάσεως σε σχέση με τις παρειές του αντίστοιχου στροφάλου μετρώνται με τη χρήση φίλλερ.

Στην περίπτωση αυξημένων φθορών τα έδρανα αντικαθίστανται πάντα κατά ζεύγη. Ο κατασκευαστής καθορίζει το βαθμό φθοράς για την αλλαγή των τριβέων. Στην περίπτωση των εδράνων βάσεως αργοστρόφων μηχανών, η ανομοιόμορφη φθορά των τριβέων διορθώνεται με εσωτερική αφαίρεση υλικού και λείανση. Οι συγκεκριμένοι τριβείς επιδέχονται και αναγόμωση από ειδικά συνεργεία.

Στην περίπτωση προχωρημένης φθοράς του κομβίου ή του πείρου μετά την επαναφορά σε κυλινδρική μορφή και τη λείανσή του, τοποθετούνται τριβείς μικρότερης εσωτερικής διαμέτρου (undersized).

Μετά από την αλλαγή ή επισκευή των τριβέων απαιτείται σταδιακή αύξηση του φορτίου της μηχανής, για να δοθεί ο απαιτούμενος χρόνος για το στρώσιμο των τριβέων. Καθ' όλη τη διάρκεια του στρωσίματος απαιτείται συνεχής έλεγχος των θερμοκρασιών των εδράνων και του λαδιού.

στ) Τριβείς εκκεντροφόρου άξονα.

Οι τριβείς των εδράνων του εκκεντροφόρου είναι παρόμοιας κατασκευής με τους τριβείς των τετραχρόνων μηχανών. Καταπονούνται σε πολύ μικρότερα φορτία, αλλά πάντα υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής τους από κακή συντήρηση ή κακή λίπανση.

5.12 Ποιοτικός έλεγχος μεταλλικών τεμαχίων με μη καταστρεπτικές μεθόδους.

Για τον έλεγχο της ποιότητας κατασκευής των μεταλλικών τεμαχίων που απαρτίζουν τον κινητήρα χρησιμοποιούνται μη καταστρεπτικές μέθοδοι, οι οποίες επιτρέπουν τη διάγνωση πιθανών ατελειών ή ελαττωμάτων, επικινδύνων για την ομαλή λειτουργία και την ασφάλεια της μηχανής.

α) Ραδιογραφία.

Η ραδιογραφία είναι η μέθοδος ελέγχου των υλικών με τη χρήση ακτίνων-Χ και ακτίνων-γ. Χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην ακτινολογία, για την ανακάλυψη κοιλοτήτων, φυσαλίδων και άλλων ελαττωμάτων, σε χυτά ή συγκολλημένα αντικείμενα. Οι ακτίνες-Χ που χρησιμοποιούνται είναι μικρότερου μήκους κύματος (σκληρότερες) απ' ό,τι στην ακτινολογία, για να έχουν καλύτερη εισχώρηση στα μέταλλα, αυτό όμως τις κάνει πιο επικίνδυνες. Οι ακτίνες-γ έχουν ακόμη μικρότερο μήκος κύματος, και συνεπώς, έχουν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται σε αντικείμενα μεγαλύτερου πάχους, απαιτώντας όμως μεγάλους χρόνους εκθέσεως και δίνοντας χαμηλότερο contrast. Οι ακτίνες-γ προέρχονται από φυσικές ή τεχνητές ραδιενεργές πηγές.

Η ραδιοφωτογραφία είναι η εικόνα που προέρχεται από την πρόσπτωση των εξερχομένων από το υλικό ακτίνων πάνω σε φωτοευαίσθητο φιλμ, το οποίο τοποθετείται πίσω από το προς εξέταση τεμάχιο. Τα σημεία που η πυκνότητα του υλικού είναι

μεγαλύτερη (εγκλείσματα) απορροφούν περισσότερο την ακτινοβολία, εμφανίζοντας πιο ανοικτόχρωμες περιοχές. Στην περίπτωση κενών ή ρωγμών, η απορρόφηση είναι μικρότερη, εμφανίζοντας πιο σκούρα περιοχή στο αρνητικό φιλμ.

β) Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την εύρεση ασυνεχειών σε σιδηρομαγνητικά υλικά και κυρίως χάλυβες. Χρησιμοποιείται για την εύρεση δυσδιακρίτων επιφανειακών ατελειών, ή ατελειών που βρίσκονται σε μικρό βάθος. Οι ατέλειες προκαλούν συγκέντρωση του μαγνητικού πεδίου, δημιουργώντας τοπικούς μαγνητικούς πόλους, αν το υλικό τοποθετηθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Έτσι, αν τοποθετηθεί μαγνητική σκόνη στην επιφάνεια του υλικού, αυτή συγκεντρώνεται και συγκρατείται στα όρια της ατέλειας, ενώ μπορεί να απομακρυνθεί με ένα φύσημα από την υπόλοιπη επιφάνεια. Η σκόνη μπορεί να είναι και φθορίζουσα, αποκαλύπτοντας έτσι τη γεωμετρία της ατέλειας κάτω από φωτισμό με υπεριώδη ακτινοβολία. Ατέλειες σε μεγάλο βάθος δεν μπορούν να ανιχνευθούν με την παραπάνω μέθοδο.

γ) Έλεγχος με φθορίζοντα διεισδυτικά υγρά.

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει χρήση υγρών με μεγάλη διεισδυτική ικανότητα λόγω υψηλής επιφανειακής τάσεως. Το υγρό αποτίθεται στην επιφάνεια του υλικού σε λεπτό στρώμα, για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να διεισδύσει στις τυχόν ρωγμές. Μετά το πλύσιμο της επιφάνειας, τοποθετείται κατάλληλη σκόνη (εμφανιστής), η οποία τραβάει το υγρό έξω από την ατέλεια, κάνοντάς την ορατή. Το υγρό μπορεί να έχει έντονο χρώμα ή να είναι φθορίζον σε υπεριώδη ακτινοβολία.

Είναι μία μέθοδος αρκετά ευαίσθητη και δεν επηρεάζεται από τη μαγνητικότητα του υλικού. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό επιφανειακών ελαττωμάτων (ρωγμών, πόρων) σε χυτά και συγκολλημένα τεμάχια, ή έπειτα από επιφανειακές κατεργασίες και κατεργασίες κοπής.

δ) Έλεγχος με υπερήχους.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν υπερήχους, κάνουν χρήση ηχητικών κυμάτων 1 έως 5 MHz, για τον εντοπισμό εσωτερικών ατελειών, κυρίως σε χυτές και συγκολλητές κατασκευές. Το ηχητικό κύμα ανακλάται κατά ένα ποσοστό, όταν συναντά εσωτερικές ασυνέχειες, με αποτέλεσμα να φτάνει στο δέκτη πίσω από το υλικό με μικρότερη ένταση. Για σταθερή ταχύτητα διαδόσεως του κύματος μέσα από το υλικό, μπορεί να εντοπιστεί η θέση της ασυνέχειας, με την εξέταση της κυματομορφής εξόδου στον παλμογράφο, με τον οποίο συνδέεται ο δέκτης.

Οι υπέρηχοι δημιουργούνται με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων (π.χ. χαλαζίας), οι οποίοι μπορούν και μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και το αντίστροφο. Για την καλή επαφή των πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων με το υλικό, χρησιμοποιείται φιλμ ελαίου, ενώ τα μικρά δοκίμια εμβαπτίζονται σε νερό, λάδι ή γλυκερίνη.

ε) Έλεγχος με δινορεύματα.

Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή σε αγώγιμα μόνο υλικά. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ελαττωμάτων, ασυνεχειών δομής και χημικής συστάσεως και για τη μέτρηση του πάχους επιστρώσεων.

Με εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσεως σε πρωτεύον πηνίο που περιβάλλει το υλικό, παράγεται μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο, λόγω της μεταβολής του, επάγει ρεύματα, με συχνότητα ίδια με αυτή του μαγνητικού πεδίου (φαινόμενο επαγωγής). Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα επαγωγικά ρεύματα ανιχνεύεται και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, οδηγούμενο σε οθόνη.

5.13 Δυναμική καταπόνηση κοχλιών.

Μια μηχανή εσωτερικής καύσεως διαθέτει ένα πλήθος κοχλιών, όπως οι συνδέτες, οι κοχλίες του διωστήρα, του βάκτρου, του εμβόλου, του πώματος, οι κοχλίες συνδέσεως της βάσεως της μηχανής κ.λ.π. Οι περισσότεροι από τους κοχλίες αυτούς καταπονούνται κυρίως σε δυναμική καταπόνηση (φορτία περιοδικά μεταβαλλόμενα) και ως εκ τούτου, κινδυνεύουν κυρίως από θραύση λόγω κοπώσεως. Ειδικά οι κοχλίες, έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη θραύση λόγω κοπώσεως, εξαιτίας των εγκοπών των σπειρωμάτων τους, όπου εμφανίζονται ισχυρές συγκεντρώσεις τάσεων.

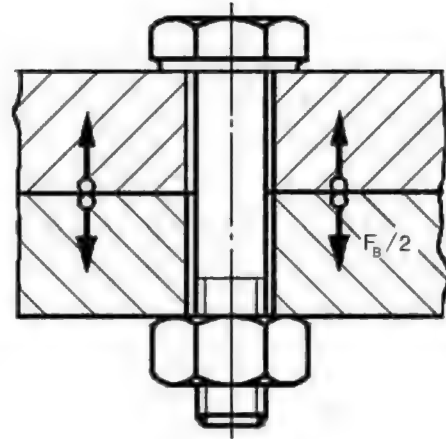
Για την κατανόηση της καταπονήσεως του κοχλία σε δυναμικά φορτία και της σημασίας της σωστής προεντάσεώς του, θα θεωρηθεί ένας περαστός κοχλίας με περικόχλιο, ο οποίος συσφίγγει φλάντζα. Μεταξύ των δύο τμημάτων της φλάντζας επενεργεί δύναμη λειτουργίας χρονικά μεταβαλλόμενη (σχ. 5.13α). Ως παράδειγμα τέτοιας δυνάμεως μπορεί να θεωρηθεί η αδρανειακή δύναμη που καταπονεί το διωστήρα και τείνει να αποκολλήσει τα δύο τμήματα του εδράνου του ποδιού του, που συγκρατούνται με κοχλίες. Αντίστοιχο παράδειγμα είναι η πε-

ριοδική καταπόνηση του πώματος του κυλίνδρου από την περιοδική μεταβολή της πιέσεως εντός του κυλίνδρου, κατά τη λειτουργία της μηχανής. Η εσωτερική αυτή πίεση μεταφέρεται στη φλάντζα του πώματος και από εκεί στους κοχλίες συνδέσεως του πώματος με το σώμα των κυλίνδρων. Άλλο παράδειγμα είναι η δύναμη εκτροπής του κινητήρα, που τείνει να αποκολλήσει τη βάση του κινητήρα από τη γάστρα του πλοίου, στην οποία συγκρατείται με τη βοήθεια κοχλιών συνδέσεως.

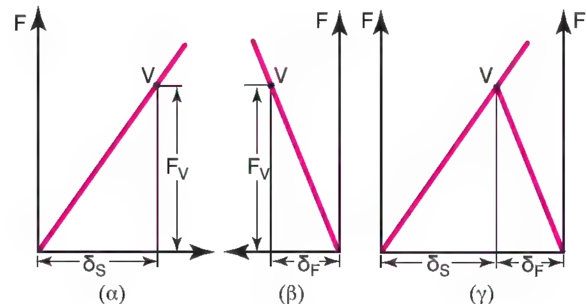
Ας θεωρηθεί αρχικά η περίπτωση της συσφίγξεως του κοχλία στη φλάντζα, χωρίς δύναμη λειτουργίας. Έστω ότι ο κοχλίας συσφίγγεται με δύναμη προεντάσεως F_V (λόγω συγκεκριμένης ροπής συσφίξεως), η οποία τον επιμηκύνει κατά δ_S. Λόγω της αρχής δράσεως-αντιδράσεως η ίδια δύναμη ασκείται στη φλάντζα, συμπιέζοντάς την κατά δ_F. Η συμπίεση της φλάντζας είναι γενικά διαφορετική από τον εφελκυσμό του κοχλία, λόγω της διαφορετικής σταθεράς ελατηρίου που χαρακτηρίζει τα δύο σώματα, αν και η δύναμη που καταπονεί τον κοχλία και τη φλάντζα είναι ή ίδια (με αντίθετο πρόσημο).

Μπορεί να σχεδιαστεί για κάθε ένα από τα δύο τμήματα το διάγραμμα δυνάμεως-παραμορφώσεως, το οποίο είναι μία ευθεία γραμμή, επειδή η καταπόνηση τόσο του κοχλία όσο και της φλάντζας είναι μέσα στην ελαστική περιοχή των υλικών τους (σχ. 5.13β). Αν σημειώσομε στα δύο διαγράμματα το ύψος της δυνάμεως προεντάσεως, και αναστρέψομε το διάγραμμα της φλάντζας [σχ. 5.13β(β)], έτσι ώστε τα σημεία που αναλογούν στη δύναμη προεντάσεως για τον κοχλία και τη φλάντζα να συμπέσουν, προκύπτει το λεγόμενο ***σχήμα συσφίγξεως του κοχλία*** [σχ. 5.13β(γ)]. Στο σχήμα συσφίγξεως φαίνεται τόσο η δύναμη προεντάσεως, όσο και οι παραμορφώσεις του κοχλία και της φλάντζας. Οι κλίσεις των δύο ευθειών είναι αντίστοιχα οι σταθερές ελατηρίου του κοχλία (αριστερά) και της φλάντζας (δεξιά).

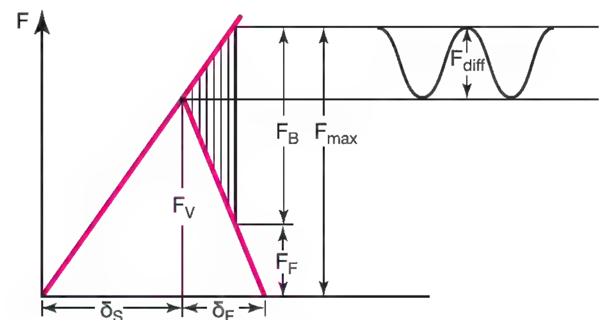
Αν προστεθεί τώρα και μια δύναμη λειτουργίας F_B στο σύστημα (έστω η εσωτερική πίεση στον κύλινδρο), τότε ο κοχλίας θα εφελκύεται επί πλέον, ενώ η φλάντζα θα πιέζεται λιγότερο (θα χαλαρώσει), λόγω του εφελκυσμού του κοχλία (σχ. 5.13γ). Έτσι, η πρόσθετη δύναμη δεν προστίθεται στην αρχική δύναμη προεντάσεως αλλά σε κλάσμα της δυνάμεως προεντάσεως, αφού αυτή μειώνεται λόγω της χαλαρώσεως της φλάντζας. Αν η δύναμη λειτουργίας είναι κυμαινόμενη (δηλαδή με ελάχιστη τιμή 0), τότε η φόρτιση του κοχλία κυμαίνεται μεταξύ της δυνάμεως προεντάσεως F_V και της μέ-



Σχ. 5.13α.
Περαστός κοχλίας με περικόχλιο, που συγκρατεί φλάντζα, η οποία φορτίζεται από δύναμη λειτουργίας F_B.



Σχ. 5.13β.
Τα διαγράμματα δυνάμεως-παραμορφώσεως για τον κοχλία (α), τη φλάντζα (β) και ο συνδυασμός τους (γ) στο σχήμα συσφίγξεως του κοχλία, όπου F_V η δύναμη προεντάσεως στον κοχλία.



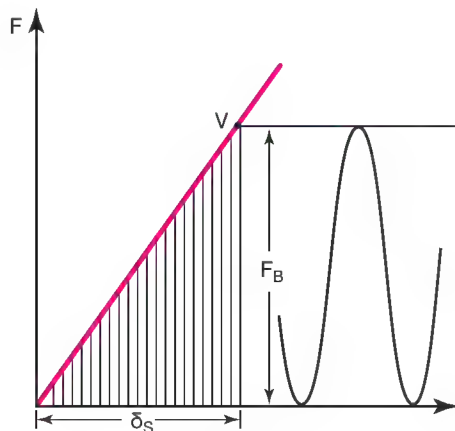
Σχ. 5.13γ.
Η τροποποίηση του σχήματος συσφίγξεως λόγω της επιδράσεως χρονικά μεταβαλλόμενης (κυμαινόμενης) δυνάμεως λειτουργίας στη φλάντζα F_B. Λόγω της F_B ο κοχλίας καταπονείται από τη μεταβαλλόμενη δύναμη F_{diff} της οποίας το εύρος είναι πολύ μικρότερο της F_B λόγω της εφαρμογής προεντάσεως.

γιστης δυνάμεως F_{max}, δηλαδή, υπάρχει μία διακύμανση της δυνάμεως καταπονήσεως του κοχλία ίση με $F_{diff} = F_{max} – F_V$, η οποία είναι πολύ μικρότερη της διακυμάνσεως της δυνάμεως λειτουργίας F_B. Αν δεν υπήρχε καθόλου σύσφιγξη του κοχλία, αυτός θα καταπονούνταν από ολόκληρη τη δύναμη F_B και όχι από την F_{diff} (σχ. 5.13δ), με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο κίνδυνο θραύσεως από κόπωση (ο κίνδυνος θραύσεως από κόπωση αυξάνεται με την αύξηση του πλάτους της ταλαντώσεως).

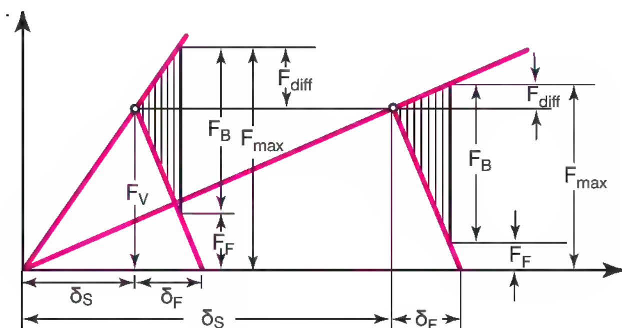
Η δύναμη προεντάσεως πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος, ώστε στο μεγαλύτερο πλάτος της δυνάμεως λειτουργίας που θα δεχτεί ο κοχλίας να υπάρχει μία μη μηδενική παραμένουσα δύναμη F_F στη φλάντζα, που να εξασφαλίζει τη λειτουργικότητά της (π.χ. στεγανότητα). Έτσι, η φλάντζα κατά την εφαρμογή της δυνάμεως λειτουργίας αποφορτίζεται από την αρχική δύναμη F_V μέχρι τη δύναμη F_F.

Από το σχήμα συσφίγξεως γίνεται φανερή τόσο η σημασία της προεντάσεως για την προστασία του κοχλία, όσο και η σημασία της ελαστικότητας του κοχλία. Σε περίπτωση που τοποθετηθεί ένας κοχλίας πιο ελαστικός, τότε η σταθερά ελατηρίου του θα είναι πιο μικρή, οπότε η κλίση της αντίστοιχης ευθείας στο σχήμα συσφίγξεως θα είναι πιο μικρή (σχ. 5.13ε). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, για την ίδια δύναμη προεντάσεως και την ίδια δύναμη λειτουργίας, μικρότερη $F_{diff,}$ δηλαδή, μικρότερη καταπόνηση του κοχλία σε δυναμική φόρτιση και άρα μικρότερο κίνδυνο θραύσεως από κόπωση.

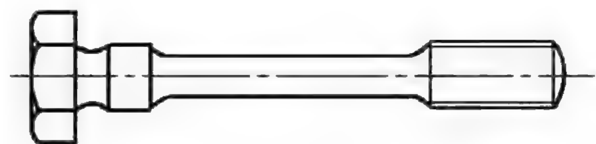
Η αύξηση της ελαστικότητας των κοχλιών πραγματοποιείται με ειδική μείωση της διατομής τους. Οι κοχλίες που προκύπτουν ονομάζονται ***κοχλίες ελαστικής μηκύνσεως*** και έχουν χαρακτηριστική μορφή (σχ. 5.13στ και 5.13ζ). Τέτοιοι κοχλίες είναι οι συνδέτες, καθώς και όλοι οι κοχλίες που καταπονούνται δυναμικά.



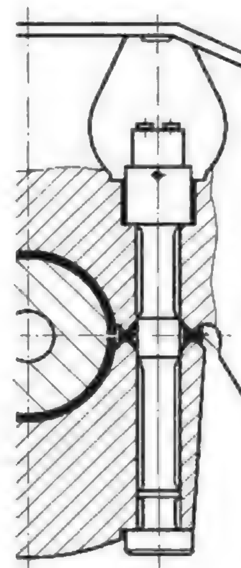
Σχ. 5.13δ.
Στην περίπτωση απουσίας προεντάσεως, ο κοχλίας καταπονείται από ολόκληρη τη δύναμη λειτουργίας F_B.



Σχ. 5.13ε.
Στην περίπτωση που επιλεγεί κοχλίας πιο ελαστικός (μικρότερη σταθερά ελατηρίου, μικρότερη κλίση της ευθείας φορτίσεως), για την ίδια προένταση F_V και την ίδια δύναμη λειτουργίας F_B η F_{diff} που καταπονεί τον κοχλία γίνεται μικρότερη.



Σχ. 5.13στ.
Τυπικός κοχλίας ελαστικής μηκύνσεως. Η μικρότερη διατομή του στην κεντρική περιοχή δίνει μικρότερη σταθερά ελατηρίου.



Σχ. 5.13ζ.
Κοχλίας ελαστικής μηκύνσεως για τη σύσφιγξη εδράνου βάσεως στροφαλοφόρου άξονα.

Κεφάλαιο Έκτο



ΔΙΚΤΥΑ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

6.1 Εισαγωγή στα δίκτυα των ΜΕΚ.

Αναπόσπαστα τμήματα των ΜΕΚ είναι τα δίκτυα προσαγωγής και απαγωγής ρευστών. Τα δίκτυα μπορούν να διακριθούν σε ***κύρια*** και ***δευτερεύοντα*** (βοηθητικά). Στα κύρια δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα καυσίμου, ελαίου, ψύξεως κύριας μηχανής, αέρα εισαγωγής, αέρα εκκινήσεως και τέλος το δίκτυο απαγωγής καυσαερίων. Στα βοηθητικά δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα γλυκού και θαλασσινού νερού, το δίκτυο του λέβητα καυσαερίων (gas boiler) κ.λ.π. Στο κεφάλαιο αυτό μεγαλύτερη έμφαση θα δοθεί στα κύρια δίκτυα της μηχανής. Επιλεκτικά θα γίνει αναφορά σε ορισμένα από τα δευτερεύοντα δίκτυα, καθώς αυτά αποτελούν αντικείμενο άλλου μαθήματος (Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων).

Τα κύρια δίκτυα διαφέρουν από μηχανή σε μηχανή, αλλά σε γενικές γραμμές ως προς τον εξοπλισμό και τη ροή τους είναι παρόμοια, ανεξάρτητα από το μέγεθος και τον τύπο του πλοίου.

Πριν την αναλυτική παρουσίαση των δικτύων θεωρείται σκόπιμο να παρατεθούν κάποιες βασικές αρχές και ιδιότητες των ρευστών, που μεταφέρονται στα αντίστοιχα δίκτυα. Έτσι, αρχικά, θα γίνει ανάλυση και περιγραφή των καυσίμων και των ιδιοτήτων τους. Στη συνέχεια, θα αναπτυχθούν τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των λιπαντικών, καθώς και οι βασικές αρχές ***τριβολογίας***. Τα βασικά χαρακτηριστικά του νερού ψύξεως, μαζί με τις γενικές αρχές της ροής των ρευστών εντός σωληνώσεων και τις βασικές αρχές μεταδόσεως της θερμότητας παρατίθενται στο Παράρτημα Β στο τέλος του κεφαλαίου. Στο Παράρτημα Α παρατίθενται ορισμένοι πίνακες, καθώς και διαγράμματα ιδιοτήτων των καυσίμων και των λιπαντικών, τα οποία για διδακτικούς λόγους κρίθηκε ότι δεν θα έπρεπε να βαρύνουν τη διδακτέα ύλη του παρόντος κεφαλαίου.

Στο Παράρτημα Γ περιλαμβάνονται τα βασικά βοηθητικά μηχανήματα των δικτύων καθώς και τα δευτερεύοντα δίκτυα του μηχανοστασίου.

6.2 Καύσιμα.

6.2.1 Μέθοδοι παραγωγής.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις ΜΕΚ, είναι υγρά ή αέρια και αποτελούνται από μείγμα υδρογονανθράκων.

Τα υγρά καύσιμα προέρχονται κυρίως από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου, ή παράγονται με συνθετική μέθοδο από λιθάνθρακες, φαιάνθρακες κ.λ.π. Τα αέρια καύσιμα είτε αποτελούν προϊόντα της κλασματικής αποστάξεως του αργού πετρελαίου (υγραέρια, ελαιαέρια), είτε προέρχονται από την επεξεργασία του φυσικού αερίου. Παράλληλα με τα υγρά καύσιμα τυπικών υδρογονανθράκων χρησιμοποιούνται και αλκοολούχα καύσιμα, είτε σε αμιγή μορφή είτε ως πρόσθετα σε μικρό ποσοστό (10-20%).

Το ***αργό*** ή ***φυσικό πετρέλαιο*** βρίσκεται στη μορφή που λαμβάνεται κατά την άντλησή του από τα φυσικά κοιτάσματα και αποτελείται κατά βάση από μείγμα υδρογονανθράκων. Μετά το πρώτο στάδιο καθαρισμού (λάσπες, χώματα, άμμος) γίνεται απαερίωση του (φυσική αφαίρεση των αερίων του) και αφυδάτωση. Στη συνέχεια, μεταφέρεται στην αποστακτική στήλη, όπου γίνεται κλασματική απόσταξη και διαχωρισμός των διαφόρων συστατικών του, ανάλογα με το σημείο βρασμού τους. Τα προϊόντα της κλασματικής αποστάξεως είναι (κατά αυξανόμενο σημείο ζέσεως) τα υγραέρια, ο πετρελαϊκός αιθέρας, οι βενζίνες, η κηροζίνη, το πετρέλαιο Diesel, το μαζούτ, οι παραφίνες και η πίσσα. Όλα τα προϊόντα της αποστάξεως περιέχουν και θείο (σε ποσό-

τητες αντιστρόφως ανάλογες της καθαρότητας του καυσίμου), στο οποίο οφείλονται πολλά από τα προβλήματα της χρήσεως των καυσίμων αυτών.

Τα ***υγραέρια*** είναι υδρογονάνθρακες με 3-4 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Χρησιμοποιούνται ως καύσιμα ΜΕΚ (υγραεριοκίνηση σε μηχανές μικρής ισχύος) και για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

Οι ***βενζίνες*** είναι υδρογονάνθρακες με 4-10 άτομα άνθρακα ανά μόριο, έχουν μικρό ειδικό βάρος και πολύ μεγάλη πτητικότητα (σημείο βρασμού 50^{o} - 200^{o} C). Χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμα βενζινομηχανών, με χρήση διαφόρων προσθηκών (μόλυβδος, αρωματικοί υδρογονάνθρακες κ.λ.π.).

Η ***κηροζίνη*** (φωτιστικό πετρέλαιο) αποτελείται από υδρογονάνθρακες με 10-14 άτομα άνθρακα ανά μόριο και χρησιμοποιείται κυρίως για την πρόωση των αεριωθουμένων αεροσκαφών (σημείο βρασμού 200^{o}-250^{o} C).

Το ***πετρέλαιο Diesel*** είναι μείγμα υδρογονανθράκων με 14-20 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Έχει σημείο βρασμού από 225^{o} έως 350^{o}C και διακρίνεται σε ***ελαφρύ Diesel (gas-oil)***, που χρησιμοποιείται σε πολύστροφες πετρελαιομηχανές (πετρέλαιο κινήσεως) και εγκαταστάσεις κεντρικής θερμάνσεως (πετρέλαιο θερμάνσεως) και ***σε βαρύ πετρέλαιο Diesel (MDO)***, το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις μεσόστροφες και αργόστροφες ΜΕΚ των πλοίων και των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, καθώς και στους βιομηχανικούς λέβητες.

Το ***μαζούτ (HFO)*** περιέχει υδρογονάνθρακες με περισσότερα από 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο, με σημείο βρασμού άνω των 350^{o} C. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεγάλων αργοστρόφων μηχανών, μεσοστρόφων κυρίων μηχανών και μεσοστρόφων μηχανών ηλεκτροπαραγωγής, ως καύσιμο λεβήτων, καθώς και για την παραγωγή ορυκτελαίων και κυλινδρελαίων.

Τα πετρέλαια πρέπει απαραίτητα να έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε θείο (όπως επιβάλλεται από διεθνείς κανονισμούς) για την προστασία του περιβάλλοντος από την όξινη βροχή.

Κατά την κλασματική απόσταξη διαχωρίζονται πρώτα τα προϊόντα με σημείο βρασμού κάτω των 370^{o} C και τα οποία αποτελούν τα προϊόντα ευρείας καταναλώσεως για τους κινητήρες εσωτερικής καύσεως (όπως το υγραέριο, αλκοόλες πετρελαίου, βενζίνη, κηροζίνη, ελαφρύ πετρέλαιο Diesel και πετρέλαιο θερμάνσεως). Στη συνέχεια το κατάλοιπο στην αποστακτική στήλη με θερμοκρασία βρασμού άνω των 370^{o} C μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως είναι ως βαρύ πετρέλαιο ή να αποσταχθεί εν κενώ, για να δώσει διάφορες κατηγορίες βαρέων καυσίμων, λιπαντικών καταλοίπων και ασφαλτικών προϊόντων.

Οι κινητήρες των πλοίων χρησιμοποιούν τα λεγόμενα ***βαρέα καύσιμα,*** δηλαδή ***βαρύ πετρέλαιο Diesel (MDO)***, που προέρχεται από την αρχική απόσταξη και μαζούτ διαφόρων τύπων (***Heavy Fuel Oil***), που προέρχεται από την απόσταξη εν κενώ του καταλοίπου στην αποστακτική στήλη. Τα ελαφρά πετρέλαια χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε κινητήρες ταχυπλόων, σε κινητήρες μικρών αλιευτικών σκαφών και σκαφών αναψυχής.

Πριν από τρεις δεκαετίες η επικρατούσα πολιτική των διυλιστηρίων ήταν η παρακράτηση μεγάλου ποσοστού του αργού πετρελαίου στη μορφή βαρέος καυσίμου (της τάξεως του 50%), επειδή αποτελούσε προϊόν με σίγουρη αγορά (τα πλοία και οι μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος). Μετά την πετρελαϊκή κρίση τη δεκαετία του ’70, με την αύξηση της πιέσεως για προϊόντα με μικρότερες εκπομπές σε ρύπους και με τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων (φυσικό αέριο), μειώθηκε το ποσοστό των βαρέων καυσίμων στη διύλιση του αργού πετρελαίου (περίπου 15%). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητάς του και την αύξηση του ιξώδους του (αφού τα πιο ελαφρά κλάσματα αφαιρούνται για την παραγωγή ελαφρυτέρων προϊόντων με τη χρήση μεθόδων πυρολύσεως ή με καταλυτική διάσπαση). Για να μπορέσουν αυτά τα καύσιμα να χρησιμοποιηθούν, πρέπει να αναμειχθούν με ελαφρύτερα έτσι ώστε να μειωθεί το ιξώδες τους.

Οι διεργασίες που εφαρμόζονται για τη μετατροπή των βαρυτέρων προϊόντων σε ελαφρύτερα, αποβλέπουν στη μείωση της αναλογίας C/H είτε με αύξηση του υδρογόνου, είτε με μείωση του άνθρακα. Μείωση του άνθρακα επιτυγχάνεται με τις διεργασίες πυρολύσεως (θερμικές ή καταλυτικές). Αύξηση του υδρογόνου επιτυγχάνεται με υδρογονοπυρολύσεις, που συνίστανται στην προσθήκη υδρογόνου με τη χρήση καταλυτών.

Για τη μείωση του κόστους λειτουργίας των συγχρόνων μηχανών πλοίων χρησιμοποιείται πλέον όλο και χαμηλότερης ποιότητας καύσιμο, το οποίο φτάνει μέχρι και πυκνότητα 1013 kg/m^3. Το καύσιμο αυτό έχει μεγάλο ιξώδες, μεγάλη περιεκτικότητα σε τέφρα, νερό, υπολείμματα καταλύτη, θείο, βανάδιο, νάτριο, ασφαλτίνες και σε διαβρωτικά συστατικά, εμφανίζει τάση προς σχηματισμό γαλακτώματος, ενώ είναι γενικά πιο ασταθές, με μικρότερο αριθμό κετανίου και μικρότερη θερμογόνο δύναμη. Απαιτεί μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας για την προθέρ-

μανσή του, έτσι ώστε να μπορεί να διέλθει από τα φίλτρα και τους διαχωριστήρες και να μπορέσει να ψεκαστεί στον κύλινδρο, ενώ επιβαρύνεται το κόστος λειτουργίας λόγω των μεγαλυτέρων απαιτήσεων συντηρήσεως του δικτύου και της μηχανής. Παρόλα αυτά, από τη χρήση αυτής της ποιότητας των πετρελαίων, έχει προκύψει σημαντική οικονομία η οποία κυμαίνεται από 3 έως 5 δολάρια ανά τόνο καυσίμου.

6.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες πετρελαίου.

Οι επιτρεπόμενες τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του πετρελαίου καθορίζονται από διεθνή πρότυπα και κανονισμούς, όπως της A.S.T.M. (American Society of Testing Materials), B.S.S. (British Standard Specifications), I.S.O. και C.I.M.A.C. (Conseil International Des Machines a Combustion - International Council on Combustion Engines), καθώς και από τα εγχειρίδια των κατασκευαστών μηχανών εσωτερικής καύσεως. Είναι απαραίτητη η γνώση και η πιστή εφαρμογή αυτών των προδιαγραφών από τους μηχανικούς των πλοίων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή επιλογή και ο έλεγχος του καυσίμου, για την απρόσκοπτη και χωρίς φθορές λειτουργία των μηχανών, παράλληλα με την προστασία του περιβάλλοντος από τους εκπεμπόμενους ρύπους.

α) Ειδικό βάρος – Πυκνότητα.

Η ***πυκνότητα*** (ρ) και το ***ειδικό βάρος*** (ε) ενός υγρού είναι μεταξύ τους ανάλογα μεγέθη, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά και οι δύο όροι. Η πυκνότητα του πετρελαίου είναι κρίσιμη ιδιότητα, διότι επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία καθαρισμού του καυσίμου στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές. Επηρεάζει επίσης τη λειτουργία των αντλιών εγχύσεως καυσίμου (επειδή λειτουργούν με την ογκομέτρηση του καυσίμου θέλουν διαφορετική ρύθμιση για αλλαγή της πυκνότητας). Καύσιμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε βαρέα μόρια υδρογονανθράκων και ασφαλτικά προϊόντα έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα (και ειδικό βάρος).

Γενικά, τα καύσιμα με μεγαλύτερη πυκνότητα έχουν χειρότερα χαρακτηριστικά αναφλέξεως και χαμηλότερη ποιότητα καύσεως.

Η πυκνότητα του πετρελαίου κυμαίνεται από 0,83 g/ml έως 1,05 g/ml σε θερμοκρασία πετρελαίου 15^{o} C, με τυπική τιμή 0,991 g/ml για τα καύσιμα των πλοίων. Για πυκνότητα μεγαλύτερη των 0,991 g/ml απαιτούνται ειδικοί φυγοκεντρικοί διαχωριστές.

Για να υπολογιστεί το συνολικό βάρος του καυσίμου που κατανάλωσε η μηχανή, χρειάζεται πρώτα να προσδιοριστεί το ειδικό βάρος του καυσίμου στη θερμοκρασία μετρήσεως. Οι μετρητές καταναλώσεως πετρελαίου της μηχανής υπολογίζουν την κατανάλωση, συνήθως σε όγκο, στη θερμοκρασία που έχει το προθερμασμένο πετρέλαιο. Το ίδιο ισχύει και για την κατανάλωση, η οποία μετρείται σε όγκο στη δεξαμενή χρήσεως. Ο χρόνος μετρήσεως της καταναλώσεως πρέπει να είναι μεγαλύτερος από μια ώρα, για τη μείωση των σφαλμάτων μετρήσεως.

Η πυκνότητα και το ειδικό βάρος βρίσκονται:

α) Άμεσα με τη χρήση πυκνομέτρων.

β) Μέσω υπολογισμού, με τη χρήση του συντελεστή θερμικής διαστολής ***(α)***. Αν ΔΤ η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας αναφοράς (όπου είναι γνωστή η πυκνότητα ϱ_o) και της νέας θερμοκρασίας (όπου θέλομε να την υπολογίσομε), τότε ισχύει:

$$\varrho = \frac{\varrho_o}{1 + \alpha \cdot \Delta T}$$

Στον πίνακα 6.2.1 δίνεται ο συντελεστής θερμικής διαστολής (α) για διαφορετικές τιμές της πυκνότητας, με θερμοκρασία αναφοράς τη θερμοκρασία της μετρήσεως.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.1

Μεταβολή του συντελεστή θερμικής διαστολής με την πυκνότητα, για τα συνήθη καύσιμα ΜΕΚ.

Πυκνότητα /15^{o} C (g/ml)	Συντελεστής α ($1/^{o}$C)	Πυκνότητα /60^{o} F (g/ml)	Συντελεστής α ($1/^{o}$F)
0,829 - 0,838	0,00068	0,829 - 0,862	0,00037
0,839 - 0,852	0,00067	0,863 - 0,900	0,00063
0,863 - 0,870	0,00066	0,901 - 1,050	0,00035
0,871 - 0,890	0,00065		
0,891 - 0,970	0,00064		
0,839 - 0,852	0,00067		

β) Ιξώδες.

Το ***ιξώδες*** (ή συνεκτικότητα) είναι το μέτρο των διατμητικών τάσεων (τριβών) του ρευστού. Υγρό με μεγάλο ιξώδες είναι παχύρρευστο ενώ υγρό με μικρό ιξώδες είναι λεπτόρρευστο. Το ιξώδες επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και για τα υγρά μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Το ιξώδες διακρίνεται σε ***δυναμικό*** (***μ***) και ***κινηματικό*** (***ν***). Το κινηματικό ιξώδες, το οποίο μας ενδιαφέρει, είναι ο λόγος του δυναμικού ιξώδους προς την πυκνότητα:

$$\nu = \frac{\mu}{\varrho}$$

Επειδή οι δυνάμεις τριβής και οι αντιστάσεις στη ροή του ρευστού συνδέονται άμεσα με την τιμή του ιξώδους, είναι ουσιαστική η γνώση της τιμής του για τη σωστή λειτουργία των συστημάτων αντλήσεως, μεταφοράς και ψεκασμού του καυσίμου. Αυτό που συνήθως καθορίζεται κατά την παραλαβή του καυσίμου, είναι η μέγιστη τιμή του κινηματικού ιξώδους.

Πρακτική μονάδα μετρήσεως του κινηματικού ιξώδους είναι το cSt (centi Stoke), ενώ η μονάδα μετρήσεως στο S.I. είναι σε m^2/s. Το δυναμικό ιξώδες μετρείται στο σύστημα S.I. σε kg/(m s). Η σχέση που δίνει το cSt είναι:

$$1 \text{ cSt} = 0{,}01 \text{ St} = 0{,}01 \text{ cm}^2/\text{s} = 1 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Στην πράξη, το ιξώδες μετρείται με διάφορες μεθόδους και σε διάφορες άλλες μονάδες (μέθοδοι Engler, Redwood, Saybolt Universal). Οι διαφορετικές μονάδες μετρήσεως του ιξώδους τείνουν να αντικατασταθούν πλήρως από το cSt και το m^2/s. Μία τυπική μέθοδος μετρήσεως του ιξώδους αναφέρεται στη μέτρηση του χρόνου ροής συγκεκριμένου όγκου υγρού δεδομένης θερμοκρασίας από οπή συγκεκριμένης διαμέτρου. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος ροής τόσο μικρότερο είναι το ιξώδες.

Επειδή στα βαρέα καύσιμα η τιμή του είναι πολύ μεγάλη, για τη σωστή ροή στις σωληνώσεις και μέσα από τους εγχυτήρες, επιβάλλεται η θέρμανση του καυσίμου για τη μείωση του ιξώδους. Η αρχική άντληση του βαρέος καυσίμου μπορεί να γίνει για κινηματικό ιξώδες περίπου 800 cSt. Ο διαχωρισμός όμως του καυσίμου επιβάλλει την αύξηση της θερμοκρασίας και τη μείωση του ιξώδους κάτω από 180 c-St, ενώ ο ψεκασμός γίνεται συνήθως για ιξώδες μεταξύ 9 και 15 cSt.

Η μεταβολή του κινηματικού ιξώδους του καυσίμου με τη θερμοκρασία δίδεται από τους προμηθευτές καυσίμου σε διαγράμματα, όπως αυτό του σχήματος 6.2α (βλ. επίσης Διάγραμμα 1, Παραρτήματος Α).

Κατά την ανάμειξη δύο καυσίμων διαφορετικού κινηματικού ιξώδους προκύπτει προφανώς καύσιμο με ιξώδες ενδιάμεσο των δύο αρχικών. Στο σχήμα 6.2β δίδεται το νομογράφημα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κινηματικού ιξώδους του μείγματος (βλ. επίσης Διάγραμμα 2, Παραρτήματος Α).

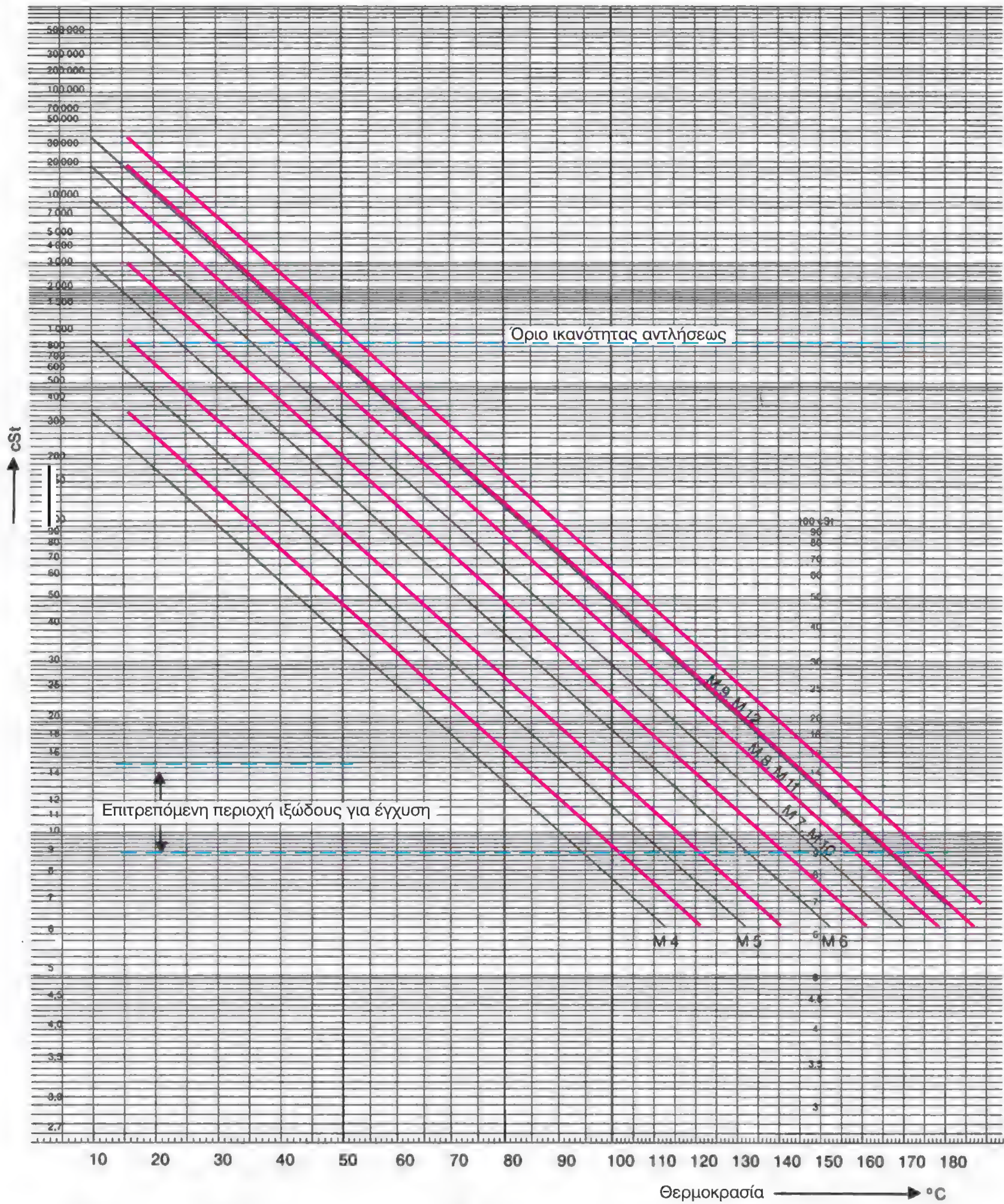
Η μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στη σωστή λειτουργία του κινητήρα. Η χαμηλή θερμοκρασία του καυσίμου, άρα και το υψηλό ιξώδες του, δημιουργούν προβλήματα στην άντλησή του από τις δεξαμενές. Επίσης, χαμηλή θερμοκρασία πριν τους εγχυτήρες οδηγεί σε ατελή διασκορπισμό του καυσίμου (ατελής δημιουργία του νέφους), κακή ανάμειξη με τον αέρα, πιθανή προσκόλληση στα τοιχώματα του χιτωνίου, ατελή καύση (εξαγωγή άκαυστης αιθάλης), δημιουργία εξανθρακωμάτων και αυξημένη φθορά των χιτωνίων, των ελατηρίων και των βαλβίδων εξαγωγής.

Αντιθέτως, η υψηλή θερμοκρασία του πετρελαίου πριν τις αντλίες εγχύσεως (στο τελευταίο στάδιο της προθερμάνσεως) μπορεί να οδηγήσει σε βρασμό του πετρελαίου και καταστροφή των αντλιών εγχύσεως. Για το λόγο αυτό, η θερμοκρασία και το ιξώδες του καυσίμου στο σημείο αυτό μετρώνται με ακρίβεια και ρυθμίζονται αυτόματα με τη χρήση ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου.

γ) Σημείο αναφλέξεως.

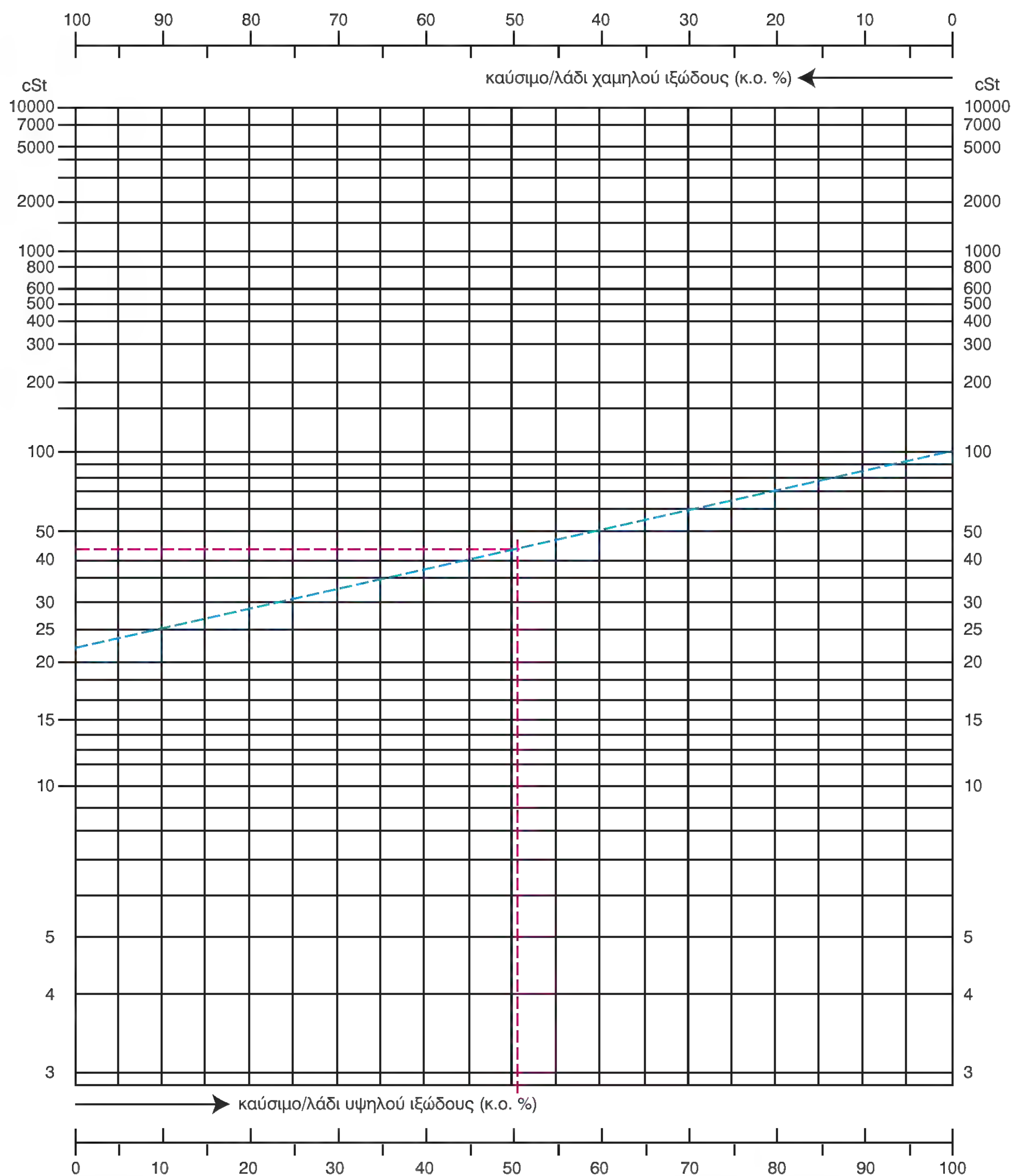
Σημείο αναφλέξεως είναι η ελάχιστη θερμοκρασία, στην οποία το πετρέλαιο δίνει ατμούς που αναφλέγονται, όταν έρχονται σε άμεση επαφή με φλόγα. Το σημείο αναφλέξεως κυμαίνεται συνήθως από 70 έως 120°C και μετρείται με τη μέθοδο κλειστού δοχείου (closed cup - μέθοδος Pensky Martens) ή ανοικτού δοχείου (open cup). Κατά τους Lloyd, το σημείο αναφλέξεως πρέπει για λόγους ασφαλείας να είναι μεγαλύτερο από 65° C (150° F).

Η θερμοκρασία του καυσίμου εντός των δεξαμενών πρέπει για λόγους ασφαλείας να είναι αρκετά μικρότερη του σημείου αναφλέξεως, προς αποφυγή πυρκαγιάς. Ο κίνδυνος υπάρχει λόγω της ανακυκλοφορίας θερμού πετρελαίου και της επιστροφής του πίσω στις δεξαμενές μετά τους διαχωριστές, όπου η θερμοκρασία του υπερβαίνει το σημείο αναφλέξεως. Έτσι, κατά την επιστροφή στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως συχνά παρεμβάλλεται ψυγείο.



Σχ. 6.2α.

Μεταβολή του κινηματικού ιξώδους με τη θερμοκρασία, σύμφωνα με BSMA 100, 1983 για διάφορους τύπους καυσίμου ΜΕΚ.



Εισάγετε τα ιξώδη στην ίδια βασική θερμοκρασία.

Ο δείκτης ιξώδους (VI) των προς ανάμειξη υγρών πρέπει να είναι ίσος ή τουλάχιστον πολύ όμοιος.

Παράδειγμα: επιθυμητό: 46 cSt
διαθέσιμο: 22 cSt και
100 cSt

Αποτέλεσμα: 50% από λάδι/καύσιμο των 22 cSt
50% από λάδι/καύσιμο των 100 cSt

Σχ. 6.2β.

Διάγραμμα υπολογισμού του τελικού κινηματικού ιξώδους από την ανάμειξη δύο καυσίμων διαφορετικού ιξώδους. Στο παραπάνω παράδειγμα η κεκλιμένη ευθεία ενώνει τα σημεία που αντιστοιχούν στα ιξώδη των δύο προς ανάμειξη καυσίμων (22 και 100 cSt). Για ποσοστό αναμείξεως περίπου 50% - 50%, το καύσιμο που προκύπτει έχει ιξώδες 46 cSt.

δ) Σημείο καύσεως.

Σημείο καύσεως είναι η ελάχιστη θερμοκρασία, στην οποία οι ατμοί του θερμαινόμενου καυσίμου, παρουσία φλόγας αναφλέγονται και συνεχίζουν να καίγονται για τουλάχιστον 5 sec. Το σημείο καύσεως είναι 15^{o} έως 25^{o} C υψηλότερο από το σημείο αναφλέξεως.

ε) Σημείο αυταναφλέξεως.

Σημείο αυταναφλέξεως ονομάζεται η θερμοκρασία στην οποία αυταναφλέγεται το καύσιμο σε ατμοσφαιρική πίεση και κυμαίνεται μεταξύ 350 και 500^{o} C ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου. Όταν το καύσιμο βρίσκεται σε περιβάλλον συμπιεσμένου αέρα 30 bar, το σημείο αυταναφλέξεώς του κατέρχεται στους 200^{o} έως 250^{o} C.

στ) Σημείο ροής.

Σημείο ροής ονομάζεται η θερμοκρασία, στην οποία αρχίζει να ρέει το πετρέλαιο και είναι 3^{o} C μεγαλύτερη της θερμοκρασίας πήξεώς του. Η θερμοκρασία αυτή είναι η ελάχιστη θερμοκρασία προθερμάνσεως του πετρελαίου στις δεξαμενές αποθηκεύσεως, για την εξασφάλιση της ικανότητας αντλήσεώς του. Πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή της πήξεως του πετρελαίου, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, γιατί στη συνέχεια η επαναθέρμανσή του είναι δυσχερής, καθώς το στερεοποιημένο καύσιμο είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική θέρμανση, διότι προκαλεί γήρανση του καυσίμου, ενώ υπάρχει και αυξημένος κίνδυνος αναφλέξεως.

ζ) Θερμογόνος δύναμη.

Η θερμότητα καύσεως που απελευθερώνεται κατά την τέλεια καύση ενός kg υγρού καυσίμου ονομάζεται ***θερμογόνος δύναμη*** του καυσίμου και μετρείται σε J/kg ή kJ/kg (ή παλαιότερα σε kcal/kg ή Btu/lb). Αν αυτή αναχθεί σε ένα kmole καυσίμου, ονομάζεται ***μοριακή θερμογόνος δύναμη*** ή ***θερμοτονισμός*** και μετρείται σε J/kmole ή kJ/kmole.

Ορίζομε ως ***ανώτερη θερμογόνο δύναμη*** τη θερμογόνο δύναμη που αντιστοιχεί σε υγρή φάση του νερού στο τέλος της καύσεως. Ως ***κατώτερη θερμογόνο δύναμη*** ορίζομε αντίστοιχα τη θερμογόνο δύναμη όταν το νερό βρίσκεται υπό μορφή ατμού. Η διαφορά της ανώτερης και της κατώτερης θερμογόνου δυνάμεως ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεως της μάζας του νερού, που παράγεται κατά την καύση 1 kg καυσίμου στη συγκεκριμένη θερμοκρασία T του πειράματος της καύσεως. Η διαφορά αυτή κυμαίνεται μεταξύ του 10% και 20%, οπότε είναι πολύ σημαντική για να αμεληθεί. Η χρησιμοποίηση της μιας ή της άλλης θερμογόνου δυνάμεως εξαρτάται από την κατάσταση του νερού στο τέλος της καύσεως.

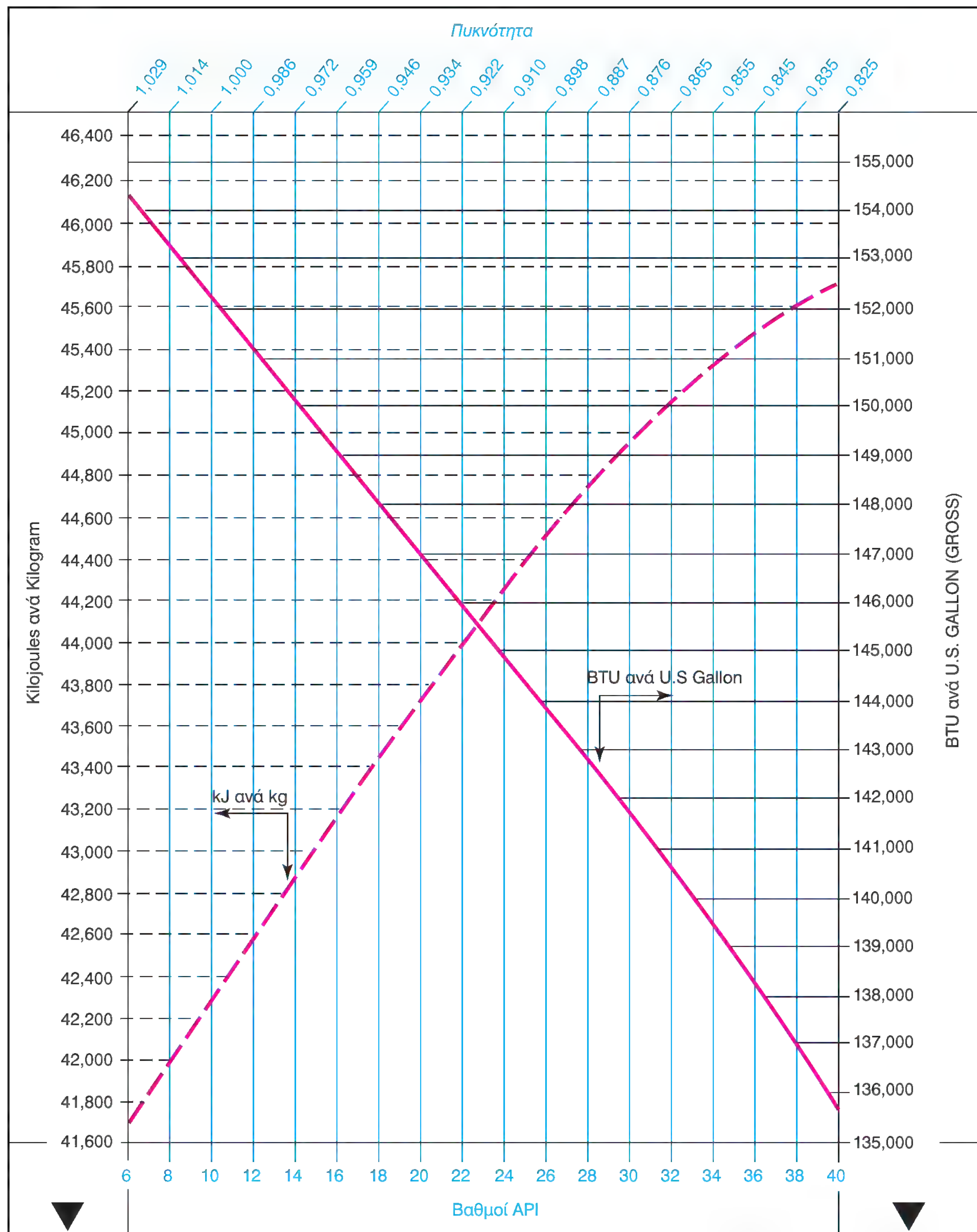
Στους εμβολοφόρους κινητήρες, όπου η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι υψηλή, το νερό βρίσκεται υπό μορφή ατμού, ***οπότε χρησιμοποιείται πάντα η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου.***

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις εμβολοφόρες ΜΕΚ, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς το είδος των υδρογονανθράκων που τα απαρτίζουν, διαφέρουν όμως ελάχιστα ως προς τη στοιχειακή τους σύσταση, την περιεκτικότητά τους δηλαδή σε άνθρακα και υδρογόνο. Συνεπώς, δεν πρέπει να εμφανίζουν και σημαντικές διαφορές και ως προς την ενεργειακή τους συμπεριφορά. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται συχνά για απλοποίηση των υπολογισμών ένα μέσο καύσιμο, το ***κανονικό καύσιμο***, με συγκεκριμένη σύνθεση και θερμογόνο δύναμη ίση με 42.500 kJ/kg. Το Marin Diesel Oil (ISO-F-DMX) διαθέτει κατώτερη θερμογόνο δύναμη 42.700 kJ/kg.

Για ακριβείς υπολογισμούς απαιτείται η γνώση της στοιχειομετρικής συστάσεως του καυσίμου, από την οποία υπολογίζεται αναλυτικά η ακριβής θερμογόνος δύναμη, όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Η στοιχειομετρική σύσταση του καυσίμου δίδεται από την προμηθεύτρια εταιρεία πετρελαιοειδών, μαζί με στοιχεία για το ιξώδες, την περιεκτικότητα σε θείο, την πυκνότητα κ.λ.π. Αναλυτική περιγραφή του τρόπου υπολογισμού της θερμογόνου δυνάμεως του καυσίμου θα δοθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο της καύσεως. Στα σχήματα 6.2γ και 6.2δ, δίδονται διαγράμματα για τον προσεγγιστικό υπολογισμό: α) της θερμογόνου δυνάμεως ναυτικών καυσίμων με βάση μόνο την πυκνότητα και β) με βάση την πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε θείο.

η) Υστέρηση αναφλέξεως.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η καύση του πετρελαίου χαρακτηρίζεται από τρεις διαφορετικές φάσεις, η πρώτη από τις οποίες είναι η ***φάση της υστερήσεως*** ή ***καθυστερήσεως αναφλέξεως***. Η τυπική υστέρηση αναφλέξεως που χαρακτηρίζει την καύση στους πετρελαιοκινητήρες είναι 0,001 έως 0,002 sec. Στην πράξη, ο χρόνος αυτός επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του αέρα,

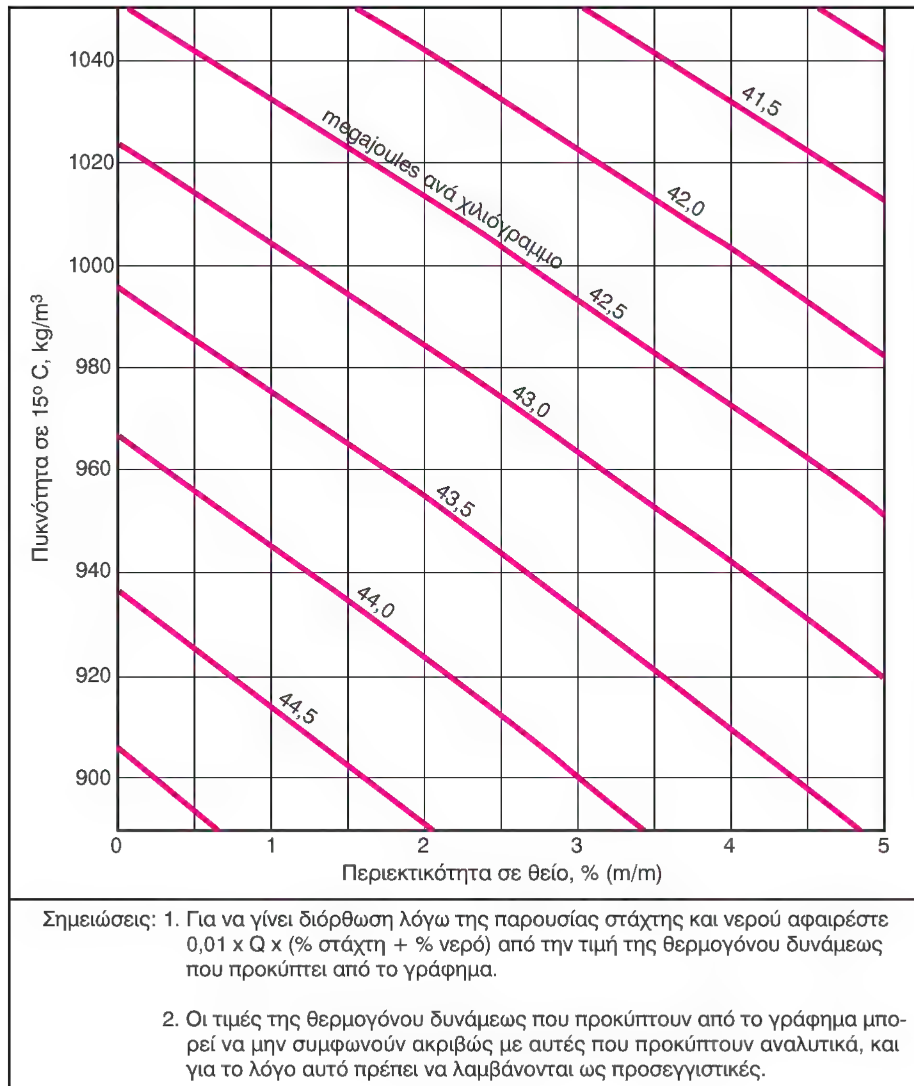


Πολλαπλασιάστε με 0,001 ώστε να προκύψουν Megajoules/kg
Πολλαπλασιάστε με 0,4299 ώστε να προκύψουν Btu/lb.

Πολλαπλασιάστε με 0,0666 ώστε να προκύψουν kg-cal/l
Πολλαπλασιάστε με 0,2787 ώστε να προκύψουν kJ/kg.

Σχ. 6.2γ.

Διάγραμμα για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της θερμογόνου δυνάμεως ναυτικών καυσίμων με βάση την πυκνότητα.



Σημειώσεις: 1. Για να γίνει διόρθωση λόγω της παρουσίας στάχτης και νερού αφαιρέστε 0,01 x Q x (% στάχτη + % νερό) από την τιμή της θερμογόνου δυνάμεως που προκύπτει από το γράφημα.

2. Οι τιμές της θερμογόνου δυνάμεως που προκύπτουν από το γράφημα μπορεί να μην συμφωνούν ακριβώς με αυτές που προκύπτουν αναλυτικά, και για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται ως προσεγγιστικές.

Σχ. 6.2δ.

Διάγραμμα για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της θερμογόνου δυνάμεως ναυτικών καυσίμων με βάση την πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε θείο.

το μέγεθος των σταγονιδίων του καυσίμου, η ομοιογένεια του μείγματος αέρα-καυσίμου και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου. Η φάση της υστερήσεως είναι επιθυμητό να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Μεγάλος χρόνος υστερήσεως μπορεί να οδηγήσει σε κρουστική καύση στο δεύτερο στάδιο, λόγω της μεγάλης ποσότητας μείγματος που προετοιμάζεται στην πρώτη φάση.

Η κατάταξη των πετρελαίων σε σχέση με τους περιεχόμενους υδρογονάνθρακες κατά σειρά αύξουσας υστερήσεως αναφλέξεως (φθίνουσα ποιότητα) δίδεται στη συνέχεια:

Κανονικοί Παραφινικοί > Ολεφίνες > Ναυθενικοί > Ισοπαραφινικοί > Αρωματικοί.

Στην παραπάνω κατάταξη οι κανονικοί παραφινικοί εμφανίζουν τη μικρότερη και οι αρωματικοί τη μεγαλύτερη υστέρηση αναφλέξεως.

θ) Αριθμός κετανίου.

Ο ***αριθμός κετανίου***, αποτελεί το μέτρο της ποιότητας εναύσεως του καυσίμου, δηλαδή της εκρηκτικής ή μη καύσεως, καθώς και της επιταχύνσεως ή επιβραδύνσεως της εναύσεως του πετρελαίου, από τη στιγμή της εγχύσεως μέχρι τη στιγμή της εναύσεώς του.

Ο αριθμός κετανίου μετρείται σε πρότυπη μονοκύλινδρη μηχανή μεταβλητού βαθμού συμπιέσεως. Ως μέτρα συγκρίσεως χρησιμοποιούνται μείγματα

του παραφινικού υδρογονάνθρακα κετάνιο ($C_{16}H_{34}$) και της α-μεθυλοναφθαλίνης ($C_{10}H_7$-CH_3). Ο πρώτος χαρακτηρίζεται από ελάχιστη επιβράδυνση και λαμβάνει στη συμβατική κλίμακα τον αριθμό κετανίου 100. Ο δεύτερος χαρακτηρίζεται από μεγάλη επιβράδυνση αναφλέξεως και λαμβάνει αριθμό κετανίου ίσο με το μηδέν. Αν χρησιμοποιηθεί ως μέτρο συγκρίσεως το επταμέθυλο-εννεάνιο ($C_{16}H_{34}$), λαμβάνει ως αριθμό κετανίου το 15.

Μείγματα 100 μερών των δύο προτύπων καυσίμων, (π.χ. 45% κετάνιο και 55% α-μεθυλοναφθαλίνη), δοκιμασμένα στην πρότυπη μονοκύλινδρη μηχανή, δίνουν ορισμένο χρόνο καθυστερήσεως της αναφλέξεως. Εάν με τις ίδιες συνθήκες συμπιέσεως και θερμοκρασίας, το καύσιμο που εξετάζομε δώσει την ίδια καθυστέρηση αναφλέξεως τότε λαμβάνει ως αριθμό κετανίου το ποσοστό του κετανίου του πρότυπου μείγματος (δηλαδή στο παράδειγμά μας 45).

Τα πετρέλαια στις ταχύστροφες μηχανές, όπου ο διαθέσιμος χρόνος αναφλέξεως είναι μικρότερος, πρέπει να έχουν αριθμό κετανίου που να κυμαίνεται από 45 - 55, με μέγιστη τιμή 60. Στις μεσόστροφες ο αριθμός κετανίου πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 35 και 45, ενώ στις αργόστροφες μεταξύ 25 και 30. Πετρέλαιο με αριθμό κετανίου μεγαλύτερο του 60 δεν χρησιμοποιείται, γιατί αναφλέγεται γρήγορα, πριν την ανάμειξή του με τον αέρα, με συνέπεια, να γίνεται ατελής καύση και να ρυπαίνεται η μηχανή. Αριθμός κετανίου μικρότερος του κανονικού, δημιουργεί κρουστική καύση, απώλεια ισχύος και αυξημένο κίνδυνο καταστροφής των τριβέων. Η κρουστική καύση είναι αποτέλεσμα της μεγάλης υστερήσεως, οπότε προετοιμάζεται μεγάλη ποσότητα μείγματος αέρα-καυσίμου, η οποία αναφλέγεται απότομα στη δεύτερη φάση, αυξάνοντας στιγμιαία υπέρμετρα την πίεση εντός του κυλίνδρου.

Για τις μηχανές με αριθμό στροφών μεγαλύτερο των 600 rpm, που καίνε μείγμα βαρέος πετρελαίου - πετρελαίου Diesel, πρέπει να επιλέγεται καύσιμο με αριθμό κετανίου μεγαλύτερο του 40.

ι) Περιεκτικότητα σε θείο.

Η ***περιεκτικότητα σε θείο*** είναι από τις πιο σημαντικές και ανεπιθύμητες παραμέτρους των καυσίμων και κυρίως των πετρελαίων που χρησιμοποιούνται στους ναυτικούς πετρελαιοκινητήρες. Η παρουσία του θείου προκαλεί, όπως ήδη έχει προαναφερθεί, διάβρωση χαμηλών θερμοκρασιών, κυρίως στα χιτώνια. Κατά τη λειτουργία της μηχανής, στην περίπτωση που συμβεί υγροποίηση των οξειδίων του θείου (SO_2, SO_3) και επικάθισή τους στα τοιχώματα του χιτωνίου (λόγω υπερβολικής τους ψύξεως), σχηματίζεται θειικό οξύ (H_2SO_4), που διαβρώνει το χιτώνιο. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος παρουσιάζεται στα κατώτερα τμήματα του χιτωνίου, όπου επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες καύσεως και ειδικότερα στα μερικά φορτία. Για το λόγο αυτό, όπως έχει προαναφερθεί, χρησιμοποιείται είτε διαφορετικό κύκλωμα ψύξεως του κατώτερου τμήματος είτε ειδικές μονωτικές επικαλύψεις (εξωτερικά του χιτωνίου) στους αντίστοιχους υδροθαλάμους.

Παράλληλα, επειδή το θείο προσβάλλει και το λιπαντικό, σημαντικές ποσότητες θείου συσσωρεύονται στα εξανθρακώματα των ελατηρίων του εμβόλου, προκαλώντας τοπικές διαβρώσεις στα ελατήρια, ενώ όταν ο κινητήρας δεν λειτουργεί, δημιουργούν τοπικούς δακτυλίους έντονης διαβρώσεως στο χιτώνιο, στις θέσεις επαφής τους. Αυτός είναι ένας από τους λόγους που κατά την παύση λειτουργίας του κινητήρα ενεργοποιείται το σύστημα του κρίκου.

Η περιεκτικότητα σε θείο κυμαίνεται από 1% έως 2% κατά βάρος (κ.β.) στα ελαφρά καύσιμα και 3,5 έως 5% στα βαρέα. Η επίλυση του προβλήματος της διαβρώσεως γίνεται με τη χρήση ειδικών αλκαλικών κυλινδρελαίων, που εξουδετερώνουν την παρουσία των οξίνων θειικών ενώσεων. Σε περίπτωση εφοδιασμού του πλοίου με διαφορετικό πετρέλαιο, το οποίο έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο, χωρίς ταυτόχρονη αντικατάσταση του κυλινδρελαίου, τότε λόγω υπερβολικής αλκαλικότητας, εμφανίζονται αυξημένες φθορές στα ελατήρια των εμβόλων, εξαιτίας της συγκεντρώσεως αλκαλικών εξανθρακωμάτων.

ια) Περιεκτικότητα σε τέφρα.

Η ***περιεκτικότητα σε τέφρα*** κυμαίνεται από 0,01% έως 0,03% κ.β. στα ελαφρά και 0,1% έως 0,15% στα βαρέα καύσιμα. Επειδή στην ουσία η τέφρα αποτελείται από στερεά σωματίδια, προκαλεί φθορές στο δίκτυο τροφοδοσίας (κυρίως στις αντλίες, στα φίλτρα και στους εγχυτήρες). Στο χώρο καύσεως επικάθεται στα ελατήρια και στην κεφαλή του εμβόλου, στο χιτώνιο και στις έδρες των βαλβίδων εξαγωγής. Επίσης, συνδυασμένη με τις υψηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες, επικάθεται στα πτερύγια του στροβίλου του στροβιλοϋπερπληρωτή, μειώνοντας την απόδοσή του.

Τα μεγαλύτερα σωματίδια της τέφρας κατακρατώνται κατά τον καθαρισμό του πετρελαίου στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές. Ο καθαρισμός πραγ-

ματοποιείται για τα βαρέα πετρέλαια σε δύο στάδια (clarifier και purifier), ενώ για τα πετρέλαια Diesel σε ένα, συνήθως, στάδιο.

Η τέφρα μαζί με τα βαρύτερα συστατικά του πετρελαίου καθώς και τα μεταλλικά κατάλοιπα κατακάθονται στις δεξαμενές πετρελαίου και σε σημεία του δικτύου με χαμηλές ταχύτητες, περιοχές ανακυκλοφορίας (δίνες) και σημεία ανακοπής της ροής, προκαλώντας τοπική διάβρωση (ενώ στις σωληνώσεις αυξάνουν και τις αντιστάσεις ροής).

ιβ) Περιεκτικότητα σε νερό.

Το νερό πρέπει να βρίσκεται συνήθως σε μέγιστο ποσοστό 0,3% στα ελαφρά και 0,5% έως 1% κατ' όγκον (κ.ό.) στα βαρέα καύσιμα. Η μεγάλη περιεκτικότητα του πετρελαίου σε νερό αυξάνει την πιθανότητα διαβρώσεως χαμηλών θερμοκρασιών, αφού συμβάλλει στη δημιουργία θειικού οξέος. Στην περίπτωση που το νερό είναι θαλασσινό, αυξάνεται ο κίνδυνος διαβρώσεως των δεξαμενών και των σωληνώσεων, καθώς και όλων των στοιχείων του δικτύου πετρελαίου. Επίσης, το αλάτι συνδυάζεται με το περιεχόμενο στο καύσιμο βανάδιο, αυξάνοντας τον κίνδυνο επικαθήσεων και διαβρώσεων υψηλών θερμοκρασιών στις βαλβίδες εξαγωγής, στις έδρες τους και στα πτερύγια του στροβίλου του στροβιλοϋπερπληρωτή.

Για την απομάκρυνση του νερού, το κάτω μέρος των δεξαμενών αποθηκεύσεως και ημερήσιας καταναλώσεως διαμορφώνεται σε κεκλιμένο συλλέκτη, όπου κατακάθεται το νερό και απομακρύνεται μέσω ειδικού δικτύου προς τη δεξαμενή ακαθάρτων. Το υπόλοιπο νερό, που παραμένει στο καύσιμο, απομακρύνεται στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές και στους συλλέκτες των φίλτρων. Οι κίνδυνοι από την τυχόν παρουσία νερού στο καύσιμο, παρά τα παραπάνω μέτρα, μειώνονται με ομογενοποίηση του καυσίμου σε κατάλληλο ομογενοποιητή.

ιγ) Εξανθρακώματα.

Κατά την καύση των βαρυτέρων κλασμάτων του πετρελαίου, μέρος του περιεχόμενου άνθρακα δεν καίγεται (λόγω της απουσίας επαρκούς οξυγόνου και της υπάρξεως υψηλών θερμοκρασιών που προκαλούν πυρόλυση) και δημιουργεί υπολείμματα άκαυστου άνθρακα (εξανθρακώματα). Τα εξανθρακώματα συσσωρεύονται στα ελατήρια και στην κεφαλή του εμβόλου, στις θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής, στις έδρες των βαλβίδων εξαγωγής, στα ακροφύσια των εγχυτήρων και στην οπή του δυναμοδεικτικού κρουνού, δημιουργώντας τοπικές φθορές και προβλήματα λειτουργίας.

Η τάση του συγκεκριμένου τύπου πετρελαίου να δημιουργεί εξανθρακώματα, μετρείται με τα πειράματα Conradson και Ramsbottom. Στο πείραμα Conradson δείγμα καυσίμου θερμαίνεται σε ανοικτό δοχείο υπό συνθήκες μέτριας παροχής αέρα με φυσικό ελκυσμό. Τον ελκυσμό εξασφαλίζει καπνοδόχος με τυποποιημένο σχήμα και διαστάσεις. Το στερεό υπόλειμμα καθαρού άνθρακα που απομένει ονομάζεται Conradson Carbon Residue (CCR) και δίνεται επί τοις εκατό του αρχικού βάρους του καυσίμου. Οι τιμές του παραπάνω δείκτη για τα βαρέα ναυτικά καύσιμα κυμαίνονται μεταξύ 10 και 22% κατά βάρος (κατά CIMAC).

Στο πείραμα Ramsbottom, το καύσιμο θερμαίνεται σε κλειστό δοχείο, το οποίο καταλήγει σε τριχοειδή σωλήνα, από τον οποίο διαφεύγουν οι παραγόμενοι ατμοί πετρελαίου. Η συνολική διάρκεια της δοκιμής είναι 20 λεπτά και η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους 550^{o}C. Κατά την πυρόλυση που προκαλείται, συγκεντρώνεται υπόλειμμα στερεού άνθρακα στον πυθμένα του δοχείου. Το ποσοστό του βάρους του άνθρακα προς το αρχικό βάρος του καυσίμου αποτελεί το δείκτη Ramsbottom.

Σημειώνεται ότι για τα βαρέα καύσιμα το εξανθράκωμα μετρείται με τις προηγούμενες μεθόδους ως ποσοστό του βάρους του συνολικού αρχικού δείγματος. Στα ελαφρύτερα όμως ναυτικά καύσιμα (MDO) μετρείται επί του 10% υπολείμματος, που απομένει μετά την εξάτμιση των ελαφρυτέρων κλασμάτων. Αυτό συμβαίνει, διότι η τάση σχηματισμού εξανθρακωμάτων συνδέεται με τα βαρύτερα κλάσματα, ενώ τα πτητικότερα καίγονται χωρίς να αφήσουν υπόλειμμα.

Οι τιμές του δείκτη Ramsbotttom για τα ελαφρά ναυτικά καύσιμα κυμαίνονται μεταξύ 0,2% και 3% κ.β. (στο 10% του υπολείμματος κατά CIMAC).

ιδ) Περιεκτικότητα σε βανάδιο (V).

Το περιεχόμενο βανάδιο στο καύσιμο οξειδώνεται κατά την καύση προς πεντοξείδιο του βαναδίου (V_2O_5). Το αλάτι (NaCl) του θαλασσινού νερού που περιέχεται στο καύσιμο (και στον αέρα πληρώσεως που περιέχει θαλασσινή υγρασία), αντιδρά με το οξυγόνο και τα οξείδια του θείου και δημιουργεί θειικό νάτριο (Na_2SO_4). Το πεντοξείδιο του βαναδίου μαζί με το θειικό νάτριο δημιουργούν ευτηκτικά άλατα, τα οποία σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω

των 550^{o}C) προσκολλώνται στις επιφάνειες του χώρου καύσεως και στις αντίστοιχες των θερμών οχετών εξαγωγής. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται στις έδρες των βαλβίδων και στην αντίστοιχη επιφάνεια της κεφαλής των βαλβίδων, στα πτερύγια του στροβίλου, καθώς και στην κεφαλή του εμβόλου. Η τοπική αποκόλληση των αλάτων από τις έδρες κατά το κλείσιμο των βαλβίδων δημιουργεί τοπικές διόδους για τα καυσαέρια, οπότε λόγω των υψηλών ταχυτήτων, αυξάνεται τοπικά η μετάδοση θερμότητας προς τις βαλβίδες και τις έδρες, με αποτέλεσμα να καίγονται. Προφανώς το πρόβλημα εντείνεται στους κινητήρες που λειτουργούν με βαρέα καύσιμα, λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε βανάδιο.

Η επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε βανάδιο κυμαίνεται μέχρι 100 mg/kg για τα ελαφρά καύσιμα και από 150 έως 600 mg/kg για τα βαρέα. Το περιεχόμενο νάτριο στο καύσιμο πρέπει να είναι λιγότερο του 1/3 του περιεχόμενου βαναδίου, έτσι ώστε να περιορίζεται η δημιουργία των ευτηκτικών αλάτων τους.

ιε) Περιεκτικότητα σε ασφαλτένια (ασφαλτικές ενώσεις).

Τα ασφαλτένια (ασφαλτικές ενώσεις) είναι υδρογονάνθρακες μεγάλου μοριακού βάρους με σύνθετη μοριακή δομή, οι οποίοι βρίσκονται διασπαρμένοι στο πετρέλαιο υπό μορφή κολλοειδούς διαλύματος. Έχει ιδιαίτερη σημασία να μην προκληθεί καθίζηση και συνένωση των αιωρημάτων των ασφαλτενίων, διότι δημιουργείται ασφαλτική λάσπη, που προκαλεί σημαντικά προβλήματα στο δίκτυο πετρελαίου.

Η συνένωση των ασφαλτενίων ρυθμίζεται από την αρωματικότητα του πετρελαίου. Μείωση της αρωματικότητας προκαλεί συνένωση των ασφαλτενίων. Η μείωση όμως της αρωματικότητας μπορεί να είναι επιθυμητή για τη δημιουργία ελαφρύτερου μείγματος καυσίμου. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, για να μην προκληθεί καθίζηση και συνένωση των αιωρημάτων των ασφαλτενίων. Ο κίνδυνος αυτός αυξάνεται με τη θερμοκρασία σε ασταθή καύσιμα, οπότε πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο συγκεκριμένος παράγοντας για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας προθερμάνσεως στις δεξαμενές αποθηκεύσεως.

Δύο καύσιμα που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, μπορεί κατά την ανάμειξή τους να προκαλέσουν καθίζηση και συνένωση των ασφαλτενίων. Αυτά τα καύσιμα ονομάζονται ***ασύμβατα*** και πρέπει να αποθηκεύονται σε διαφορετικές δεξαμενές, ενώ πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα έτσι ώστε να μην προστεθεί ασύμβατο καύσιμο σε δεξαμενή που ήδη περιέχει καύσιμο.

Τα ασφαλτένια κατακάθονται στις δεξαμενές καυσίμου, ενώ μειώνουν γενικά την ποιότητα της καύσεως, την ικανότητα ροής και τις λιπαντικές ιδιότητες του καυσίμου. Στην περίπτωση καθιζήσεως του κολλοειδούς διαλύματος μπορεί να προκληθεί κόλλημα των αντλιών καυσίμου και φράξιμο των φίλτρων καθαρισμού. Για το λόγο αυτό, συχνά πριν τα φίλτρα χρησιμοποιούνται ομογενοποιητές, οι οποίοι δημιουργούν ένα ομογενές διάλυμα καυσίμου και μειώνουν την πιθανότητα καθιζήσεως. Σημαντικό τμήμα των ασφαλτενίων μπορεί να απομακρυνθεί από το καύσιμο στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές, με αποτέλεσμα την απώλεια θερμικής ενέργειας.

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε ασφαλτένια κυμαίνεται από 0,5% έως 2% στα ελαφρύτερα και 6% έως 8% στα βαρύτερα καύσιμα, με μέγιστη περιεκτικότητα 10% έως 20% στα καύσιμα που παράγονται από θερμική πυρόλυση.

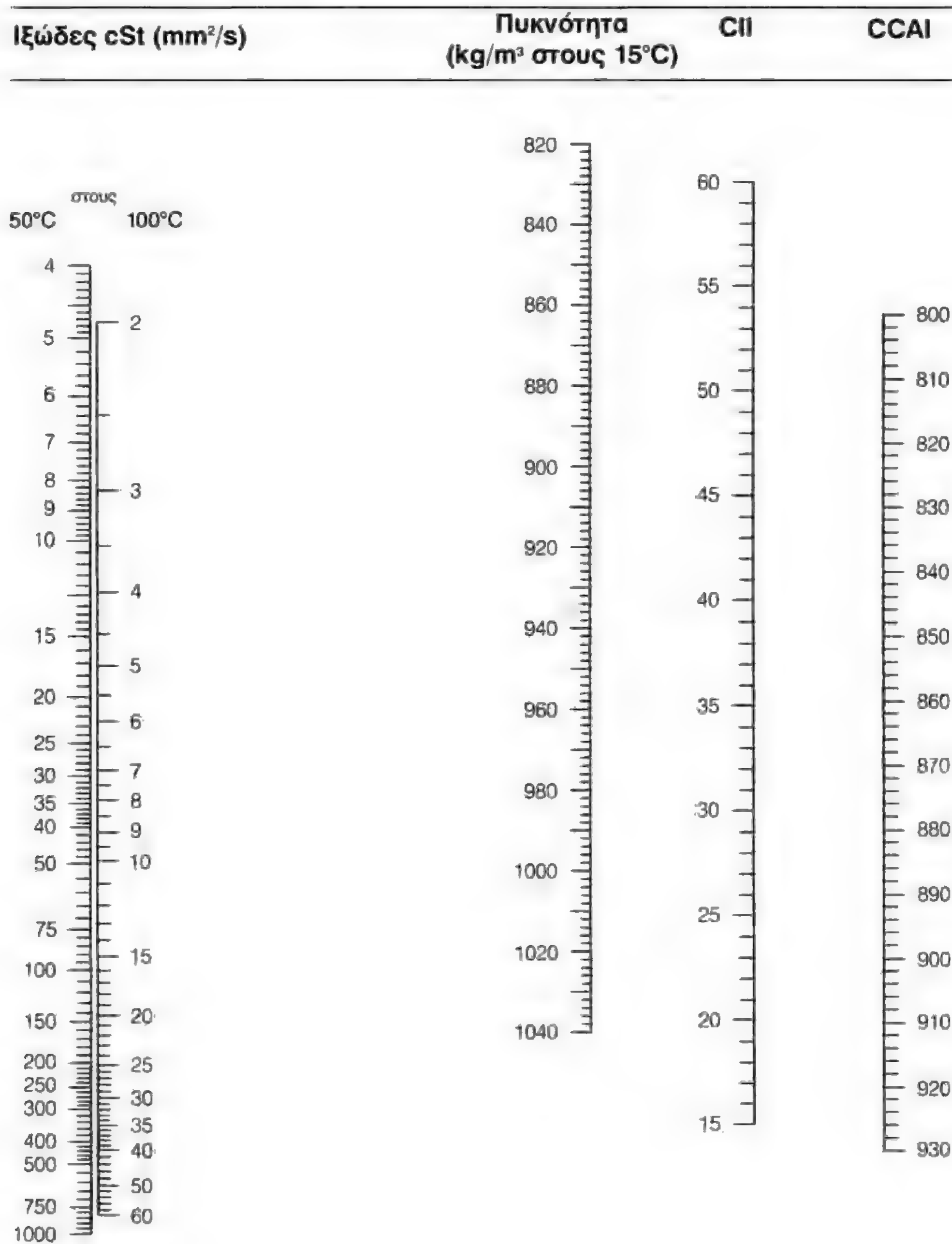
ιστ) Περιεκτικότητα σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες περιέχουν στο μόριό τους τουλάχιστον έναν εξαμελή αρωματικό δακτύλιο ατόμων άνθρακα, στον οποίο τα άτομα του άνθρακα συνδέονται μεταξύ τους με εναλλασσόμενο σύστημα απλών και διπλών ομοιοπολικών δεσμών. Αυτοί κυμαίνονται από 5,5% έως 6% κατά βάρος στα ελαφρά και από 30% έως 47% κατά βάρος στα βαρέα καύσιμα. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι αυξημένοι στα καύσιμα που παράγονται από πυρόλυση.

Ειδικά για τα βαρέα καύσιμα, η ποιότητα της καύσεως εξαρτάται σημαντικά από το ποσοστό των περιεχομένων αρωματικών υδρογονανθράκων. Η αύξηση της περιεκτικότητας κατά βάρος σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες, αυξάνει την καθυστέρηση της αναφλέξεως και μειώνει την ποιότητα καύσεως. Παράλληλα, αυξάνεται η θερμοκρασία των παραγομένων καυσαερίων.

Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την επίδραση των περιεχομένων αρωματικών υδρογονανθράκων στην ευκολία εναύσεως του καυσίμου

ονομάζεται ***δείκτης αρωματικότητας υδρογονανθράκων*** (Calculated Carbon Aromaticity Index - CCAI). Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται αντί για τον αριθμό κετανίου στα βαρέα καύσιμα, στα οποία ο αριθμός αυτός δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Υπολογίζεται από αναλυτική σχέση με βάση την πυκνότητα και το κινηματικό ιξώδες. Η τιμή του κυμαίνεται από 800 έως περίπου 930. Για βαρέα καύσιμα με καλή ποιότητα καύσεως παίρνει τιμές περίπου ίσες με 800, ενώ για καύσιμα με πολύ χαμηλή ποιότητα καύσεως παίρνει τιμές περίπου ίσες με 930. Στο σχήμα 6.2ε δίδεται νομογράφημα για τον υπολογισμό του δείκτη αρωματικότητας υδρογονανθράκων (CCAI) του καυσίμου.



Σχ. 6.2ε.

Νομογράφημα για τον υπολογισμό του δείκτη αρωματικότητας υδρογονανθράκων (CCAI) του καυσίμου και του δείκτη κετανίου (CII) με βάση το ιξώδες και την πυκνότητα. Η ευθεία που ενώνει την τιμή του ιξώδους και την τιμή της πυκνότητας του καυσίμου, τέμνει τα δύο άλλα νομογραφήματα και δίνει τις τιμές του CII και του CCAI.

ιζ) Κατάλοιπα καταλυτικής αποστάξεως.

Η χρήση καταλυτών για την πραγματοποίηση της κλασματικής αποστάξεως των καυσίμων έχει ως επακόλουθο την παρουσία μεταλλικών σωματιδίων καταλύτη εντός του πετρελαίου. Τα σωματίδια αυτά συνήθως αποτελούνται από Al_2O_3 και SiO_2. Η περιεκτικότητα σε σωματίδια καταλύτη μετρείται σε ppm (parts per million - τμήματα ανά εκατομμύριο) ή σε mg/kg. Για τα καύσιμα Diesel η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα είναι 25 mg/kg, ενώ γα τα βαρέα καύσιμα είναι 80 mg/kg (κατά CIMAC). Το μέγεθός τους κυμαίνεται μεταξύ 30 και 60 μικρών.

Ο καθαρισμός του καυσίμου από τα μεταλλικά αυτά σωματίδια γίνεται καθώς περνά από τους φυγοκεντρικούς διαχωριστές (σε δύο στάδια) και στη συνέχεια, από πολύ λεπτά φίλτρα.

Τα μεταλλικά σωματίδια έχουν πολύ μεγάλη σκληρότητα και, αν δεν απομονωθούν από το καύσιμο, προκαλούν σημαντικές φθορές στα χιτώνια, τις αντλίες υψηλής πιέσεως και τους εγχυτήρες πετρελαίου. Συνδυάζονται με την τέφρα, τον άκαυστο άνθρακα και το καμένο λιπαντικό και συσσωρεύονται στα ελατήρια των εμβόλων, στις βαλβίδες, στις θυρίδες και στο στρόβιλο του στροβιλοϋπερπληρωτή, αυξάνοντας τη φθορά τους και δυσχεραίνοντας τη λειτουργία τους.

ιη) Βελτιωτικά πρόσθετα.

Για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών των καυσίμων και τη μείωση της φθοράς του κινητήρα χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα στο καύσιμο, τα οποία έχουν τις ακόλουθες θετικές επιδράσεις:

- Αυξάνουν τον αριθμό κετανίου και βελτιώνουν την ικανότητα εναύσεως του καυσίμου.
- Διαλύουν τα ιζήματα στις δεξαμενές, βοηθούν στον αποχωρισμό του νερού από το πετρέλαιο και βελτιώνουν το φυγοκεντρικό διαχωρισμό.
- Εμποδίζουν την απόφραξη των εγχυτήρων, με αποτέλεσμα να επιμηκύνεται ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών συντηρήσεων και να αυξάνεται η διάρκεια ζωής τους.
- Μειώνουν τις επικαθήσεις στα έμβολα, τα ελατήρια, τις βαλβίδες, τις θυρίδες και τα πτερύγια του στροβίλου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διάρκεια ζωής τους και η απόδοση της μηχανής.
- Εμποδίζουν τις επικαθίσεις καταλοίπων βαναδίου και νατρίου στις έδρες των βαλβίδων, ή κρατούν τις επικαθίσεις σε μορφή στερεάς και εύθραυστης τέφρας, που αποβάλλεται εύκολα.
- Περιορίζουν το σχηματισμό H_2SO_4.
- Βελτιώνουν την ποιότητα της καύσεως.

Τα πρόσθετα πρέπει να αναμειγνύονται με το πετρέλαιο ανάλογα με τις οδηγίες του προμηθευτή, μετά τα φυγοκεντρικά καθαριστήρια και πριν από τη δεξαμενή χρήσεως, ή στις κύριες δεξαμενές, ή απ' ευθείας στις δεξαμενές φορτίου πριν από την παραλαβή.

6.2.3 Τύποι ναυτικών καυσίμων.

Οι ναυτικοί πετρελαιοκινητήρες Diesel έχουν συνήθως τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με διάφορους τύπους και ποιότητες καυσίμου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λειτουργία τους τόσο καύσιμα αποστάξεως (ναυτικό πετρέλαιο Diesel - MDO), όσο και καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία του υπολείμματος της αποστάξεως (residual fuels - καύσιμα υπολείμματος- βαρέα καύσιμα - μαζούτ). Στους πίνακες Π.Α.1, Π.Α.2, Π.Α.3, Π.Α.4, και Π.Α.5 του Παραρτήματος Α παρατίθενται τα χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων καυσίμων (καύσιμα αποστάξεως και βαρέα καύσιμα), σύμφωνα με τις προδιαγραφές BS, ISO και CIMAC.

Η επιλογή του τύπου του καυσίμου για τη λειτουργία του κινητήρα εξαρτάται κυρίως από οικονομικούς παράγοντες και δευτερευόντως από τεχνικούς παράγοντες. Έτσι, πρωτεύον κριτήριο για την επιλογή του τύπου του καυσίμου είναι η μείωση του κόστους κινήσεως του πλοίου (που συμπεριλαμβάνει εκτός του κόστους του καυσίμου και τους παράγοντες αυξήσεως των φθορών λόγω κακής ποιότητας καυσίμου). Εκτός από το κόστος, λαμβάνονται υπόψη παράγοντες, όπως η ευαισθησία του κινητήρα στο συγκεκριμένο καύσιμο και η αύξηση των φθορών του δικτύου και του κινητήρα, η διαθεσιμότητα κάθε τύπου καυσίμου, ή η ικανότητα του δικτύου πετρελαίου να διαχειριστεί και να καθαρίσει το συγκεκριμένο τύπο καυσίμου, οι δυνατότητες ελέγχου του καυσίμου που υπάρχουν στο πλοίο και η συμβατότητα του εν λόγω καυσίμου με το προηγούμενο που υπάρχει στις δεξαμενές.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην περίπτωση που συμπληρώνονται καύσιμα σε δεξαμενή που ήδη περιέχει καύσιμο άλλου τύπου. Στην περίπτωση ασυμβατότητας των καυσίμων είναι δυνατόν να προκληθούν σημαντικές βλάβες στο δίκτυο του πετρελαίου και στον κινητήρα. Είναι δε πιθανό να υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά του καυσίμου, ακόμα και αν ο ανεφοδιασμός γίνει σε διαφορετικές ημερομηνίες από το ίδιο σημείο ανεφοδιασμού. Για το λόγο αυτό, απαιτείται προσεκτικός

έλεγχος της ποιότητας και των χαρακτηριστικών του καυσίμου κατά τον ανεφοδιασμό (και σύμφωνα πάντα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή του κινητήρα και τις διεθνείς προδιαγραφές), ειδικά από σημεία ανεφοδιασμού αμφίβολης ποιότητας. Λόγω της εκτεταμένης χρησιμοποιήσεως καυσίμων πολύ χαμηλής ποιότητας, τα οποία είναι ιδιαίτερα ασταθή και παρουσιάζουν μεγάλη τάση γαλακτωματοποιήσεως, τα καύσιμα που λαμβάνονται από διαφορετικές πηγές, πρέπει να φυλάσσονται σε ξεχωριστές δεξαμενές και να αποφεύγεται η ανάμειξή τους.

6.2.4 Επίδραση των ιδιοτήτων στη λειτουργία της μηχανής.

Στη συνέχεια παρατίθενται συγκεντρωτικά οι επιδράσεις διαφόρων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του πετρελαίου στη λειτουργία της μηχανής.

α) Υπερβολικά εξανθρακώματα.

Αυξημένη δημιουργία εξανθρακωμάτων προκαλείται στις περιπτώσεις, που το καύσιμο έχει χαμηλή ποιότητα (υψηλός δείκτης υπολειμμάτων άνθρακα), ή ο κινητήρας έχει λανθασμένη ρύθμιση, με αποτέλεσμα την ατελή καύση και υψηλές θερμοκρασίες ή υπάρχει μειωμένη παροχή αέρα (λόγω ακαθάρτων φίλτρων και βουλωμένων θυρίδων σαρώσεως), ή εμφανίζεται κακή έγχυση (βουλωμένα ακροφύσια ή μεγάλο ιξώδες καυσίμου). Τα εξανθρακώματα συσσωρεύονται στα ελατήρια των εμβόλων, στην κεφαλή του εμβόλου, στις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, στους οχετούς εξαγωγής, στα πτερύγια του στροβίλου και στο δυναμοδεικτικό κρουνό, προκαλώντας αύξηση των φθορών, ελαττωματική λειτουργία και μειωμένη απόδοση της μηχανής.

Για να αντιμετωπιστεί η δημιουργία εξανθρακωμάτων, γίνεται καθαρισμός του καυσίμου στους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες και στα φίλτρα, ενώ χρησιμοποιούνται και ειδικά απορρυπαντικά έλαια για τον καθαρισμό των θυρίδων, των ελατηρίων και των βαλβίδων.

β) Υψηλό ιξώδες.

Εάν το ***ιξώδες*** του καυσίμου είναι ***υψηλό***, τότε το πετρέλαιο είναι παχύρρευστο, οπότε ο διασκορπισμός του κατά τον ψεκασμό είναι ανεπαρκής. Το πετρέλαιο κατά τον ψεκασμό έρχεται σε επαφή πρώτα με την επιφάνεια του χιτωνίου, με αποτέλεσμα την καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης, και με την κεφαλή του εμβόλου, την οποία υπερθερμαίνει. Λόγω του ανεπαρκούς ψεκασμού και της ατελούς καύσεως του καυσίμου, δημιουργούνται εξανθρακώματα, που προκαλούν φθορές στα ελατήρια του εμβόλου, στον αγωγό εξαγωγής των καυσαερίων και στα πτερύγια του στροβίλου. Τα παραπάνω αποφεύγονται με τη σωστή επιλογή του καυσίμου και τη σωστή προθέρμανσή του.

γ) Χαμηλό ιξώδες.

Το πετρέλαιο με ***χαμηλό ιξώδες*** είναι πιο λεπτόρρευστο, οπότε δεν έχει καλές λιπαντικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να προκαλούνται φθορές στα έμβολα της αντλίας υψηλής πιέσεως πετρελαίου (εγχύσεως), αυξημένες διαρροές πετρελαίου και κακός ψεκασμός.

δ) Κατάλοιπα θείου και τέφρας.

Τα κατάλοιπα θείου και τέφρας προκαλούν φθορές στα έμβολα, τα ελατήρια των εμβόλων, τα χιτώνια κ.λ.π. Εάν η περιεκτικότητα σε θείο είναι μεγάλη, τότε τα μέταλλα που έρχονται σε επαφή με το πετρέλαιο και τα καυσαέρια διαβρώνονται.

Αντιθέτως εάν η περιεκτικότητα είναι πολύ μικρή, τότε μεγαλώνει το μήκος της φλόγας, καίει τα κυλινδρέλαια και καταστρέφει τα χιτώνια. Το θείο και το σχηματιζόμενο θειικό οξύ αντιμετωπίζονται με τη χρήση καταλλήλων αλκαλικών ελαίων λιπάνσεως.

ε) Επικάθιση τέφρας.

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε τέφρα προκαλεί αύξηση των επικαθήσεων στα ελατήρια και στην κεφαλή των εμβόλων, στις έδρες των βαλβίδων και στις θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής. Επίσης, αυξάνονται οι επικαθήσεις στα πτερύγια του στροβίλου, μειώνοντας την απόδοσή του. Οι ασύμμετρες επικαθήσεις στις έδρες των βαλβίδων δημιουργούν διόδους θερμών καυσαερίων, που προκαλούν τοπικό κάψιμο και την τελική καταστροφή της βαλβίδας.

Η αντιμετώπιση των φθορών των χιτωνίων που προκαλεί η τέφρα γίνεται με τη χρησιμοποίηση ειδικών λιπαντελαίων, με προσθήκη προσθέτων ουσιών στα πετρέλαια και με την κατασκευή περιστρεφομένων βαλβίδων εξαγωγής τόσο στις τετράχρονες, όσο και στις δίχρονες πετρελαιομηχανές.

στ) Υψηλό σημείο ροής.

Το ***υψηλό σημείο ροής*** δημιουργεί προβλήματα στην εκκίνηση της μηχανής εν ψυχρώ. Το πρόβλημα διορθώνεται με την κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας προθερμάνσεως στις δεξαμενές πετρελαίου.

ζ) Χαμηλός αριθμός κετανίου.

Όταν το πετρέλαιο έχει ***χαμηλό αριθμό κετανίου***, τότε δημιουργούνται προβλήματα κατά την ψυχρή εκκίνηση των κρύων ταχυστρόφων μηχανών, οπότε η λειτουργία τους είναι θορυβώδης. Ο αριθμός κετανίου πρέπει επίσης να είναι υψηλότερος στις ταχύστροφες μηχανές, για να εξασφαλίζεται λειτουργία χωρίς κτύπους και καθυστέρηση καύσεως.

Ο αριθμός κετανίου στα καύσιμα πολύ χαμηλής ποιότητας, που χρησιμοποιούνται πλέον εκτεταμένα στις σύγχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές, είναι αρκετά χαμηλότερος και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των μεγίστων πιέσεων στον κύλινδρο, την αύξηση των θερμικών φορτίσεων και την καθυστέρηση της εναύσεως.

6.3 Λιπαντικά – Λίπανση ναυτικών κινητήρων.

6.3.1 Γενικά.

Όταν δύο σώματα σε επαφή κινούνται σχετικά το ένα ως προς το άλλο αναπτύσσεται δύναμη τριβής, εφαπτόμενη στην επιφάνεια επαφής τους. Η δύναμη τριβής ανθίσταται στη σχετική κίνηση των σωμάτων. Σκοπός της λιπάνσεως είναι η παρεμβολή κατάλληλου λιπαντικού υλικού, ανάμεσα στις δύο τριβόμενες επιφάνειες, έτσι ώστε να μειωθεί η αναπτυσσόμενη τριβή και συνεπώς, να μειωθούν οι απώλειες ωφέλιμου έργου, που αυτή προκαλεί. Λόγω της μειώσεως των τριβών μειώνεται και η εκλυόμενη θερμότητα, μιας και η συνολική απώλεια έργου λόγω τριβών μετατρέπεται σε θερμότητα. Επιπλέον, η παρουσία του λιπαντικού ανάμεσα στις τριβόμενες επιφάνειες μειώνει την πιθανότητα επαφής τους και συνεπώς, και τη φθορά τους, ενώ ταυτόχρονα, λειτουργεί και ως ψυκτικό μέσο, απάγοντας τη θερμότητα που αναπτύσσεται λόγω τριβής.

Ειδικά στις εμβολοφόρες ΜΕΚ, το λιπαντικό στεγανοποιεί το χώρο καύσεως, καθαρίζει τις τριβόμενες επιφάνειες από ρινίσματα και στερεά κατάλοιπα, ενώ προστατεύει την επιφάνεια του χιτωνίου από τις διαβρωτικές επιδράσεις του καυσίμου και της διαδικασίας της καύσεως.

Ως προς τη φυσική τους κατάσταση οι λιπαντικές ουσίες διακρίνονται σε ***αέριες***, ***υγρές***, ***ημιστερεές*** και ***στερεές***.

Ως αέρια λιπαντική ουσία πρακτικά χρησιμοποιείται μόνο ο αέρας (υπό πίεση) σε ειδικές εφαρμογές πολύ υψηλών ταχυτήτων περιστροφής, χαμηλού φορτίου, υψηλών θερμοκρασιών, που καταστρέφουν τα κοινά λιπαντικά και σε ειδικές συσκευές υψηλής ακρίβειας (τόσο σε επίπεδες όσο και σε περιστρεφόμενες εδράσεις).

Τα υγρά λιπαντικά είναι η συνηθέστερη μορφή λιπαντικών. Περιλαμβάνουν το νερό, τα φυσικά ορυκτέλαια και μεγάλη ποικιλία συνθετικών ενώσεων. Το νερό ως λιπαντικό έχει ανεπαρκείς ιδιότητες αλλά διαθέτει πολύ υψηλή ικανότητα απαγωγής θερμότητας και υψηλή σταθερότητα, χρησιμοποιούμενο ως λιπαντικό κυρίως στις κατεργασίες κοπής και σε αντλίες νερού.

Οι ημιστερεές λιπαντικές ουσίες περιλαμβάνουν φυτικά και ζωικά λίπη ή σαπωνοποιημένα λίπη, τα οποία κατά τη χρήση τους υγροποιούνται. Δεν έχουν μεγάλη σταθερότητα, ενώ είναι και ιδιαίτερα οξειδωτικά. Στις ημιστερεές λιπαντικές ουσίες ανήκουν τα λιπαντικά λίπη (γράσσα).

Οι στερεές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για λίπανση έχουν πολύ μικρή αντοχή σε διατμητικές τάσεις. Ως στερεά λιπαντικά χρησιμοποιούνται ο γραφίτης, ο τάλκης, το θειούχο μολυβδαίνιο και διάφορες συνθετικές ενώσεις όπως το τεφλόν.

Ανάλογα με την προέλευσή τους τα λιπαντικά έλαια διακρίνονται σε:

- Ορυκτέλαια.
- Φυτικά έλαια.
- Ζωικά έλαια.
- Συνθετικά έλαια.

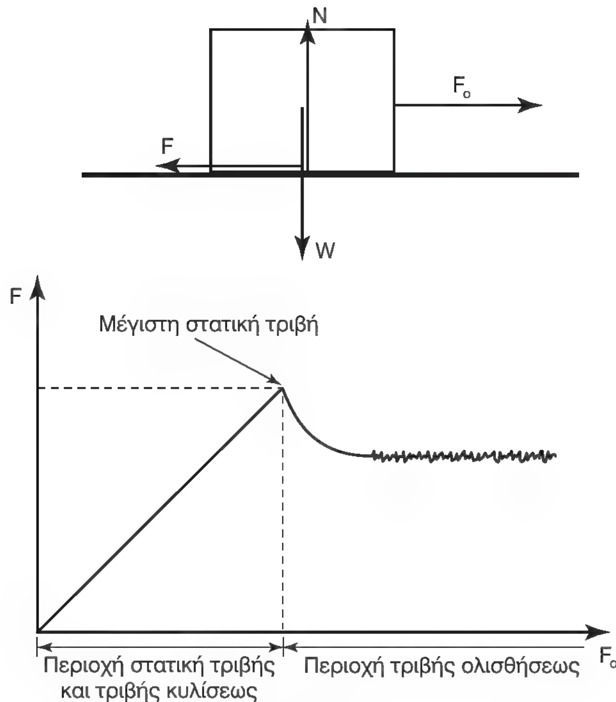
Ανάλογα με τον προορισμό τους διακρίνονται σε:

- Λιπαντέλαια ΜΕΚ.
- Λιπαντέλαια ατμοστροβίλων και αεριοστροβίλων (τουρμπινέλαια).
- Λιπαντέλαια παλινδρομικών μηχανών.
- Λιπαντέλαια ειδικών χρήσεων (μονωτικά, υδραυλικά, ψυκτικών μηχανών κ.λ.π.).

6.3.2 Τριβή.

Όταν ένα σώμα κινείται είτε πάνω σε μια στερεή επιφάνεια είτε μέσα σε κάποιο ρευστό εμφανίζεται δύναμη αντιστάσεως στην κίνησή του, λόγω της αλληλεπιδράσεως της επιφάνειας του σώματος με το περιβάλλον. Η δύναμη αυτή που αντιστέκεται στην κίνηση του σώματος, καλείται ***τριβή***.

Ας θεωρήσομε ένα κιβώτιο πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια. Αν ασκήσομε μια μικρή οριζόντια δύναμη στο κιβώτιο, αυτό δεν κινείται. Θα αρχίσει να κινείται, αν η δύναμη που ασκήσομε, υπερβεί μια συγκεκριμένη τιμή (σχ. 6.3α). Η δύναμη που εμποδίζει το σώμα να ξεκινήσει ονομάζεται ***στατική τριβή***. Η στατική τριβή οφείλεται στις μικροανω-



Σχ. 6.3α.
Διάγραμμα μεταβολής της δυνάμεως τριβής F σε σχέση με την οριζόντια δύναμη μετακινήσεως F_o.

μαλίες των επιφανειών επαφής του σώματος και του δαπέδου. Ακόμη όμως και για εντελώς λείες επιφάνειες, σε μοριακό επίπεδο αναπτύσσονται επιπλέον ηλεκτροστατικοί δεσμοί μεταξύ των μορίων των δύο επιφανειών, οι οποίοι εμποδίζουν την κίνηση του σώματος. Όταν η οριζόντια δύναμη που θα ασκήσομε υπερβεί κάποια τιμή, το σώμα αρχίζει να κινείται. Η τριβή που αναπτύσσεται στο σώμα, όταν ολισθαίνει πάνω στο επίπεδο, ονομάζεται ***τριβή ολισθήσεως***. Είναι χαρακτηριστικό ότι η τριβή ολισθήσεως είναι μικρότερη από τη στατική τριβή. Μόλις δηλαδή το σώμα αρχίσει να κινείται, η τριβή μειώνεται απότομα και η διαφορά μεταξύ της δυνάμεως που ασκούμε και της δυνάμεως τριβής ολισθήσεως είναι αυτή που επιταχύνει το σώμα. Τόσο η στατική τριβή όσο και η τριβή ολισθήσεως είναι σχεδόν ανάλογες με την κάθετη δύναμη που ασκείται μεταξύ των δύο τριβομένων επιφανειών (στο παράδειγμά μας το βάρος του σώματος). Η δύναμη της στατικής τριβής είναι αντίθετη στην εξασκούμενη δύναμη που τείνει να κινήσει το σώμα και δίδεται:

$$F_s \leq \mu_s N$$

όπου μ_s ο ***συντελεστής στατικής τριβής*** και N η κάθετη δύναμη στο σώμα.

Η παραπάνω σχέση γίνεται ισότητα τη στιγμή που αρχίζει το σώμα να κινείται:

$$F_{s,\,max} = \mu_s N$$

ενώ στην κατάσταση της ηρεμίας ισχύει η ανισότητα:

$$F_s < \mu_s N$$

Στην περίπτωση της τριβής ολισθήσεως ισχύει:

$$F_k = \mu_k N$$

όπου μ_k ο ***συντελεστής τριβής ολισθήσεως***.

Οι δύο συντελεστές εξαρτώνται από τη φύση και την τραχύτητα των τριβομένων επιφανειών, αλλά γενικά, ο συντελεστής στατικής τριβής είναι μεγαλύτερος του συντελεστή τριβής ολισθήσεως. Γενικά, οι συντελεστές τριβής, δεν εξαρτώνται από το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής, αλλά ο συντελεστής τριβής ολισθήσεως μεταβάλλεται λίγο με τη σχετική ταχύτητα κινήσεως των τριβομένων σωμάτων.

Στην περίπτωση που η σχετική κίνηση των δύο σωμάτων δεν γίνεται με ολίσθηση αλλά με κύλιση, τότε η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ τους ονομάζεται ***τριβή κυλίσεως.*** Κατά την κύλιση ενός κυλινδρικού ή σφαιρικού σώματος πάνω σε μία επιφάνεια, το εκάστοτε σημείο επαφής του σώματος με την επιφάνεια έχει μηδενική ταχύτητα ως προς την επιφάνεια (σχετική ταχύτητα). Αυτή άλλωστε είναι η συνθήκη κυλίσεως. Για το λόγο αυτό, η τριβή κυλίσεως είναι στατική τριβή. Για την τριβή κυλίσεως ισχύει η ίδια σχέση με τη στατική τριβή, δηλαδή:

$$F_r \leq \mu_s N$$

Η τριβή κυλίσεως εξαρτάται από την κινηματική κατάσταση του σώματος και μεταβάλλεται σημαντικά, ανάλογα με τις δυνάμεις και τις επιταχύνσεις, στις οποίες υπόκειται το σώμα. Κατά την κύλιση του σώματος με σταθερή ταχύτητα, η τριβή κυλίσεως είναι πολύ μικρότερη της στατικής τριβής και δίδεται:

$$F_r = \mu_r N$$

όπου μ_r ο ***συντελεστής τριβής κυλίσεως***, με τιμή πολύ μικρότερη τόσο του συντελεστή στατικής τριβής όσο και του συντελεστή τριβής ολισθήσεως.

Όταν το σώμα όμως εκτελεί επιταχυνόμενη ή επιβραδυνόμενη κίνηση, ο συντελεστής τριβής κυλίσεως μπορεί να πάρει μεγαλύτερες τιμές μέχρι τη μέγιστη τιμή του, που είναι η τιμή του συντελεστή στατικής τριβής μ_s. Η τιμή του συντελεστή τριβής

κυλίσεως, στην περίπτωση αυτή εξαρτάται από τη γωνιακή επιτάχυνση του σώματος και τη διάμετρό του (κυλίνδρου ή σφαίρας).

Η μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής κυλίσεως εμφανίζεται τη στιγμή που το σώμα ταυτόχρονα με την κύλιση αρχίζει να ολισθαίνει. Μόλις όμως ξεκινήσει η ολίσθηση, ο συντελεστής τριβής μειώνεται πλέον και γίνεται ίσος με το συντελεστή τριβής ολισθήσεως. Έτσι η τριβή κυλίσεως μπορεί να είναι μικρότερη ή και μεγαλύτερη της τριβής ολισθήσεως. Το γεγονός αυτό βρίσκει εφαρμογή στην πέδηση (φρενάρισμα) των αυτοκινήτων. Κατά το φρενάρισμα είναι επιθυμητή η μέγιστη τριβή, οπότε πρέπει να είναι τριβή κυλίσεως και όχι ολισθήσεως, στην περιοχή μεταξύ της τριβής ολισθήσεως και της στατικής τριβής. Όταν όμως ακινητοποιηθούν οι τροχοί, το αυτοκίνητο ολισθαίνει και εμφανίζει μικρότερη τριβή, άρα και μεγαλύτερο μήκος ακινητοποιήσεως (στα συστήματα ABS ο αυτόματος έλεγχος της δράσεως των φρένων επιτρέπει στην τριβή κυλίσεως να βρίσκεται οριακά κάτω από τη μέγιστη τιμή της –τη στατική τριβή– προλαμβάνοντας την έναρξη ολισθήσεως).

Το έργο που παράγει η δρώσα δύναμη για την υπερνίκηση της δυνάμεως τριβής, μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία είναι μη εκμεταλλεύσιμη ενέργεια (και εκτός αυτού, αυξάνει τη θερμοκρασία λειτουργίας, με δυσμενείς επιπτώσεις στα υλικά κατασκευής). Συνεπώς, πρωταρχικό μέλημα κατά τη λειτουργία κάθε είδους μηχανών, είναι η μείωση των τριβών μεταξύ των κινουμένων επιφανειών, για τη μείωση των απωλειών ισχύος, τη μείωση των κινδύνων από την αύξηση των θερμοκρασιών και τη μείωση των σημαντικών φθορών, που προκαλεί η τριβή.

Η μείωση της τριβής επιτυγχάνεται με την παρεμβολή κατάλληλου ρευστού μεταξύ των τριβομένων επιφανειών. Με τον τρόπο αυτό, μετατρέπεται η ***ξηρή τριβή*** σε ***υγρή***, η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ μικρότερο συντελεστή τριβής. Ο φυσικός μηχανισμός θα εξηγηθεί στη συνέχεια.

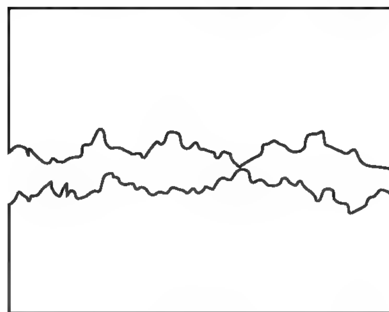
6.3.3 Λίπανση.

Η ολίσθηση μεταξύ δύο τριβομένων επιφανειών, σε μικροσκοπικό επίπεδο πραγματοποιείται με την επαφή και κρούση των προεξοχών των δύο επιφανειών, οι οποίες δεν εξαφανίζονται ούτε στην καλύτερη ποιότητα λειάνσεως (σχ. 6.3β). Παράλληλα, εμφανίζονται και μοριακές δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των επιφανειών. Έτσι με την επιβολή σχετικής κινήσεως μεταξύ των επιφανειών αναπτύσσεται τοπικά θερμότητα στις κορυφές των εφαπτομένων προεξοχών, η οποία προκαλεί ανάπτυξη δυνάμεων συγκολλήσεως (συγκολλητικοί μικροδεσμοί). Οι δυνάμεις αυτές αυξάνουν την τριβή και επιδεινώνουν το φαινόμενο, ενώ προκαλούν φθορά με τη θραύση των συγκολλουμένων προεξοχών. Στη συνέχεια, τα θραύσματα, παρεμβαλλόμενα μεταξύ των τριβομένων επιφανειών προκαλούν επιπλέον φθορές με την απόξεση τμημάτων από τις επιφάνειες επαφής, δημιουργώντας γραμμώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους επιδεινώνουν το πρόβλημα.

Στην περίπτωση της κυλίσεως δεν εμφανίζεται κρουστική επαφή μεταξύ των ακμών των δύο επιφανειών, όπως γίνεται στην περίπτωση της ολισθήσεως, αλλά οι προεξοχές της μίας επιφάνειας εισέρχονται και εξέρχονται σχετικά ομαλά στις εσοχές της απέναντι επιφάνειας, οπότε η εμφανιζόμενη τριβή (κατά την ομαλή κίνηση) είναι πολύ μικρότερη.

Η αποφυγή της επαφής μεταξύ των προεξοχών των επιφανειών μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παρεμβολή κάποιου ρευστού (υγρού ή αερίου). Αν το πάχος του ρευστού είναι μεγαλύτερο από το ύψος των προεξοχών, τότε οι προεξοχές δεν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή η δύναμη της τριβής οφείλεται στις διατμητικές τάσεις του ρευστού και είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη της ξηρής τριβής.

Οι διατμητικές τάσεις του ρευστού και συνεπώς, και η δύναμη τριβής στην περίπτωση αυτή είναι ανάλογες του δυναμικού ιξώδους του ρευστού. Έτσι τα παχύρρευστα υγρά εμφανίζουν μεγαλύτερες δυνάμεις τριβής από τα λεπτόρρευστα. Όμως, τα λεπτόρρευστα υγρά, έχοντας μικρότερο ιξώδες αδυνατούν να συγκρατηθούν ανάμεσα στις δύο τριβόμενες επιφάνειες, οπότε αυτές έρχονται σε επαφή, αυξάνοντας υπέρμετρα την τριβή. Συνεπώς, ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του λιπαντικού θα πρέπει να είναι η ικανότητά του να παραμένει μεταξύ των τρι-



Σχ. 6.3β.
Μικροσκοπική μορφή τριβομένων επιφανειών.

βομένων επιφανειών, ακόμη και σε υψηλές τιμές της κάθετης δυνάμεως.

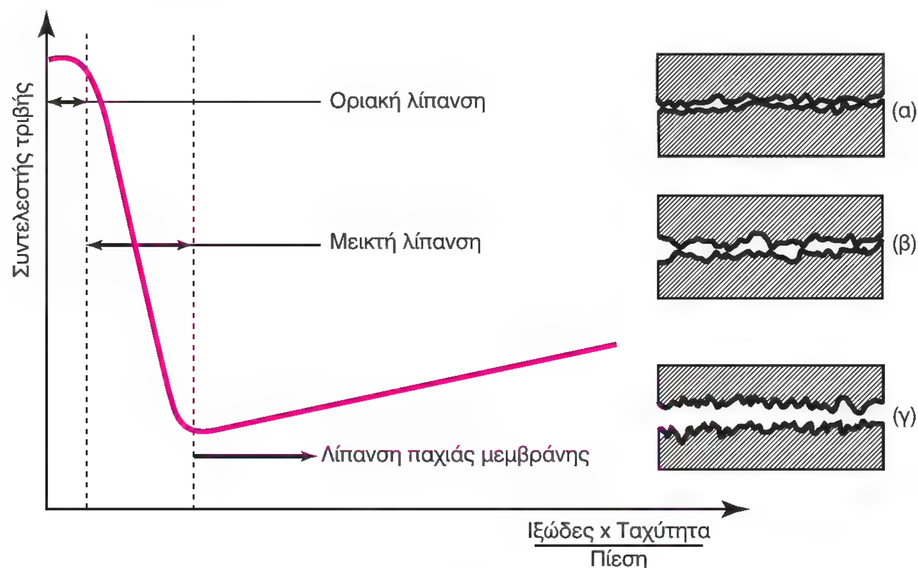
Η παραπάνω περίπτωση, όπου το στρώμα του λιπαντικού έχει μεγαλύτερο πάχος από το ύψος των προεξοχών, ονομάζεται ***λίπανση πλήρους στρώματος*** ή ***λίπανση παχιάς μεμβράνης*** (σχ. 6.3γ). Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού της παχιάς λιπαντικής μεμβράνης, διακρίνομε δύο είδη λιπάνσεως, την ***υδροδυναμική***, όπου η μεμβράνη σχηματίζεται και συντηρείται λόγω της σχετικής κινήσεως των δύο λιπαινομένων επιφανειών και την ***υδροστατική***, όπου η μεμβράνη σχηματίζεται με τη βοήθεια εξωτερικής επιβαλλόμενης υδροστατικής πιέσεως (με τη βοήθεια αντλίας) και διαχωρίζει τις λιπαινόμενες επιφάνειες, ανεξάρτητα από τη σχετική κίνησή τους. Περισσότερα για τους δύο αυτούς τύπους λιπάνσεως θα αναφερθούν στη συνέχεια.

Στην περίπτωση μεγάλων φορτίων (μεγάλων δυνάμεων κάθετα στις τριβόμενες επιφάνειες) υπάρχει κίνδυνος το πάχος του στρώματος να μειωθεί σημαντικά, οπότε κάποιες προεξοχές έρχονται σε επαφή, με αποτέλεσμα την αύξηση των τριβών, της θερμοκρασίας και των φθορών. Το φαινόμενο επιταχύνεται, διότι με την αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνεται το ιξώδες του λιπαντικού και συντηρείται δυσκολότερα η λιπαντική μεμβράνη. Η παραπάνω κατάσταση καλείται ***λίπανση λεπτής*** ή ***οριακής μεμβράνης*** (οριακή λίπανση) (σχ. 6.3γ).

Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, που εμφανίζονται κατά την εκκίνηση ή το σταμάτημα της μηχανής. Τότε, το στρώμα του λιπαντικού είναι λεπτό, συγκρινόμενο με τις διαστάσεις των τριβομένων σωμάτων.

Σε αυτό το είδος της λιπάνσεως, η δομή του λιπαντικού έχει τεράστια σημασία. Ο συνδυασμός υψηλής πιέσεως και ταχύτητας προκαλεί μεγάλες τοπικές θερμοκρασίες στις τριβόμενες επιφάνειες και καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα, τα οποία σχηματίζουν πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου, στρώματα πολωμένων μορίων, τα οποία προσκολλώνται στις μεταλλικές επιφάνειες και είναι ικανά να αντισταθούν στις υψηλές θερμοκρασίες και στα μηχανικά φορτία. Τα ορυκτέλαια δεν διαθέτουν από μόνα τους αντίστοιχα χαρακτηριστικά για τη δημιουργία οριακής μεμβράνης.

Σε ακραίες καταστάσεις πιέσεως και θερμοκρασίας τα πολικά μόρια αδυνατούν να συγκρατηθούν στις επιφάνειες επαφής. Στην περίπτωση αυτή, δρουν ειδικά πρόσθετα, τα οποία ονομάζονται ***πρόσθετα πολύ υψηλών πιέσεων*** ή ***ακρότατης πιέσεως***, και είναι ενώσεις με ενεργά συστατικά όπως θείο, χλώριο ή φώσφορο. Τα στοιχεία αυτά, λόγω της υψηλής πιέσεως και θερμοκρασίας, αντιδρούν με τις μεταλλικές επιφάνειες, σχηματίζοντας ανόργανα στρώματα υψηλής αντοχής (σουλφίδια, χλωρίδια και φωσφίδια). Εκτός από τα κυλινδρικά έδρανα ολισθήσεως, αυτό το είδος λιπάνσεως βρίσκει εφαρμογή στις γλίστρες



Σχ. 6.3γ.
Μεταβολή του συντελεστή τριβής σε έδρανο, ανάλογα με το είδος της λιπάνσεως (σχετική απόσταση μεταξύ των τριβομένων επιφανειών): α) οριακή λίπανση, β) μεικτή, γ) λίπανση παχιάς μεμβράνης.

και τους οδηγούς του ζυγώματος (ευθυντηρίες).

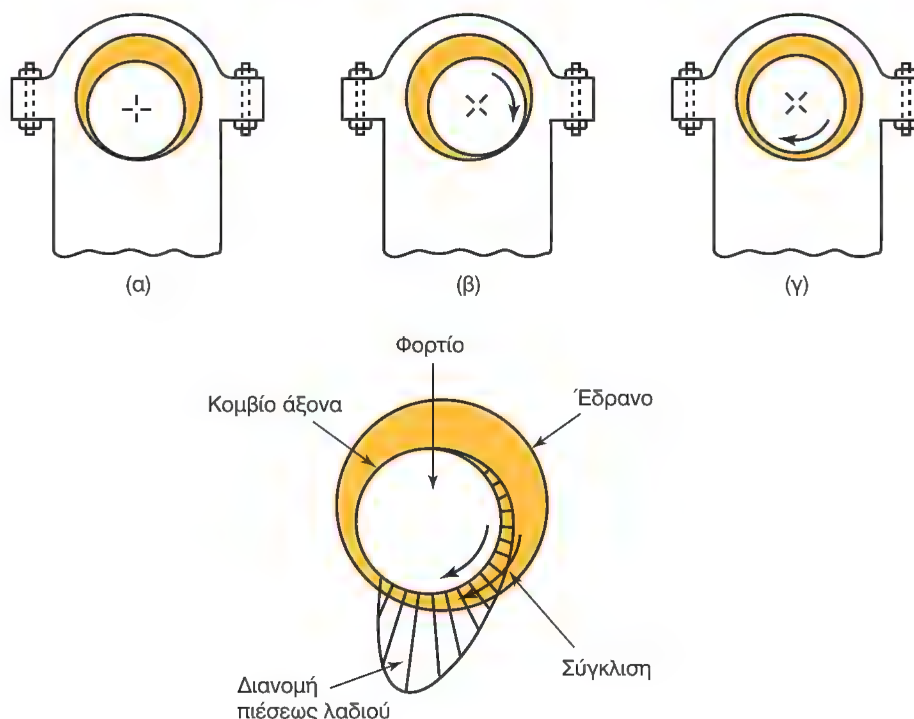
Οριακή λίπανση παρουσιάζεται μεταξύ των ελατηρίων του εμβόλου και του χιτωνίου στα άνω και κάτω νεκρά σημεία, όταν μηδενίζεται στιγμιαία η ταχύτητα του εμβόλου και δεν μπορεί να συντηρηθεί η λιπαντική μεμβράνη.

Στην περίπτωση της υδροδυναμικής λιπάνσεως με ταυτόχρονη εμφάνιση μεγάλων πιέσεων στο λιπαντικό, εμφανίζεται η περίπτωση της λιπάνσεως ***ελαστοϋδροδυναμικής μεμβράνης***. Η συγκεκριμένη μορφή λιπάνσεως συναντάται στα έδρανα κυλίσεως και στα σημεία επαφής των οδοντωτών τροχών (μειωτήρες – κιβώτια ταχυτήτων). Με την εφαρμογή των μεγάλων πιέσεων αυξάνεται το ιξώδες του λιπαντικού ενώ διευκολύνεται η δημιουργία σφήνας λαδιού, που αντέχει σε πολύ μεγαλύτερα φορτία από αυτά που προβλέπει η υδροδυναμική θεωρία της λιπάνσεως.

Η λίπανση ***στερεάς*** ή ***συμπαγούς μεμβράνης*** πραγματοποιείται με την παρεμβολή στερεών λιπαντικών [όπως διθειούχο μολυβδαίνιο (MoS_2), χαλκός, γραφίτης κ.λ.π.], τα οποία, λόγω της σχετικά μικρής αντοχής τους σε διατμητικές δυνάμεις μειώνουν την αντίσταση ολισθήσεως, ενώ ταυτόχρονα αντέχουν σε υψηλά φορτία και ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες.

α) Υδροδυναμική λίπανση.

Η ***υδροδυναμική λίπανση*** μπορεί να εξηγηθεί παραστατικά στην περίπτωση της λειτουργίας των εδράνων ολισθήσεως ενός άξονα (σχ. 6.3δ). Όταν ο άξονας δεν περιστρέφεται, λόγω του βάρους, το κομβίο εφάπτεται στο κάτω μέρος του τριβέα [σχ. 6.3δ(α)]. Ανάμεσα στις δύο επιφάνειες υπάρχει ένα ελάχιστο ίχνος λιπαντελαίου, το οποίο δεν είναι ικανό να παρέχει την απαιτούμενη λίπανση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Με την εφαρμογή ροπής στον άξονα κατά την εκκίνηση της μηχανής, το κομβίο περιστρεφόμενο κυλάει πάνω στο λιπαντικό προς την πλευρά της περιστροφής του και ανυψώνεται σχηματίζοντας ένα σφηνοειδές στρώμα λαδιού. Το σφηνοειδές αυτό στρώμα συντηρείται λόγω της αναπτύξεως υψηλής πιέσεως στην κάτω πλευρά του κομβίου, από τη ροή του λιπαντικού. Η μορφή αυτή της σφήνας που έχει ο χώρος ροής του λιπαντικού, οφείλεται στην εκκεντρότητα του κομβίου, λόγω του επιβαλλόμενου φορτίου [σχ. 6.3δ(γ)]. Το κομβίο ουσιαστικά ενεργεί σαν αντλία που αναρροφά λάδι από το χώρο πάνω από το κομβίο και το καταθλίβει στο χώρο κάτω από το κομβίο, αυξάνοντας την πίεση η οποία στη συνέχεια ανυψώνει το κομβίο. Το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης που σχηματίζεται, καθώς και η αντοχή της μεμβράνης σε πιέσεις, αυξάνε-

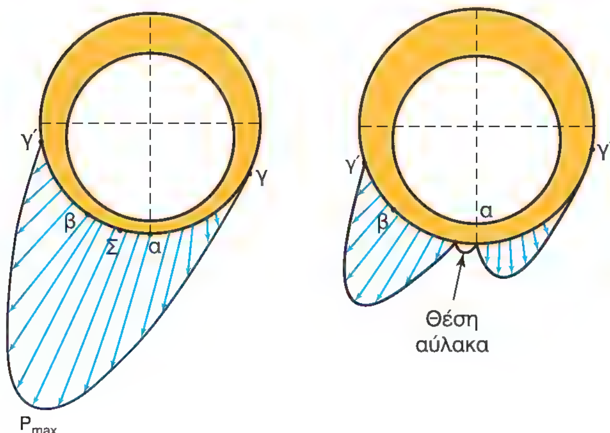


Σχ. 6.3δ.
Διαδικασία σχηματισμού σφήνας λαδιού, στην περίπτωση υδροδυναμικής λιπάνσεως, κατά τη φάση της εκκινήσεως.

ται με την ταχύτητα περιστροφής του κομβίου και μειώνεται με το επιβαλλόμενο φορτίο και την αύξηση της θερμοκρασίας (λόγω μειώσεως του ιξώδους του λιπαντικού). Λόγω της χαρακτηριστικής μορφής σφήνας που έχει ο χώρος ροής του λιπαντικού, το είδος αυτό της λιπάνσεως ονομάζεται και ***σφηνοειδής λίπανση***. Στις χαμηλές στροφές και κατά την εκκίνηση της μηχανής είναι αδύνατη η συντήρηση της λιπαντικής σφήνας (ειδικά σε μεγάλα φορτία), με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται αυξημένες φθορές. Επίσης, στην περίπτωση του κομβίου του ζυγώματος, όπου έχομε παλινδρομική κίνηση και όχι πλήρως περιστροφική, είναι δύσκολο να σχηματιστεί σφήνα λαδιού. Για το λόγο αυτό, (όπως έχει ήδη αναφερθεί) είτε χρησιμοποιείται υδροστατική λίπανση, είτε χρησιμοποιούνται έκκεντρα έδρανα για τη διευκόλυνση της δημιουργίας της σφήνας.

Η παρουσία αυλάκων για την ομοιόμορφη παροχή του λιπαντικού σε όλο το πλάτος του εδράνου, μειώνει την πίεση της υδροδυναμικής σφήνας και συνεπώς δυσχεραίνει τη λειτουργία του εδράνου. Για το λόγο αυτό, πρέπει η πολική θέση των αυλάκων να μην βρίσκεται κοντά στο τμήμα του τριβέα που δέχεται το μέγιστο φορτίο (σχ. 6.3ε). Η παρουσία όμως των αυλάκων παρέχει τη στιγμή της εκκινήσεως την απαραίτητη ομοιόμορφη κατανομή λιπαντικού, για να εφαρμοστεί υδροστατική λίπανση και να μειωθούν οι φθορές.

Η μέγιστη πίεση από την εφαρμογή της υδροδυναμικής λιπάνσεως εμφανίζεται σε σημείο μεταξύ του σημείου εφαρμογής του φορτίου του άξονα και του σημείου όπου το στρώμα του λιπαντικού έχει το μικρότερο πάχος (σχ. 6.3ε).



Σχ. 6.3ε.
Διαμόρφωση της πιέσεως σε έδρανο ολισθήσεως με υδροδυναμική λίπανση, αριστερά στην περίπτωση χωρίς, και δεξιά στην περίπτωση παρουσίας αύλακα προσαγωγής λαδιού.

Η ικανότητα υδροδυναμικής λιπάνσεως επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή των διακένων μεταξύ άξονα και τριβέα (η οποία μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου λειτουργίας λόγω φθορών). Υπερβολικά διάκενα προκαλούν διαρροές, κραδασμούς και μείωση της μέγιστης πιέσεως, με αποτέλεσμα την εξασθένηση της ικανότητας παραλαβής φορτίων. Σε μικρότερα διάκενα του κανονικού, αυξάνονται σημαντικά οι φθορές κατά την εκκίνηση, ενώ δυσχεραίνεται σημαντικά ο σχηματισμός της σφήνας λαδιού.

β) Υδροστατική λίπανση.

Όταν είναι δυσχερής ο σχηματισμός σφήνας λιπάνσεως (λόγω μικρών ταχυτήτων ή αλλαγής της φοράς κινήσεως) η λιπαντική μεμβράνη δημιουργείται με την άσκηση υψηλής πιέσεως στο λιπαντικό με τη χρήση εξωτερικής αντλίας. Η υδροστατική αυτή πίεση, ανυψώνει το κομβίο, εμποδίζοντας την επαφή του με τον τριβέα, ακόμη και τη στιγμή της εκκινήσεως. Η ***υδροστατική λίπανση*** εξασφαλίζει καλύτερο κεντράρισμα του άξονα και χρησιμοποιείται είτε κατά την εκκίνηση (όταν δεν έχει δημιουργηθεί ακόμα σφήνα λαδιού) είτε σε ειδικά υδροστατικά έδρανα (κυρίως αξονικά που δέχονται μεγάλα ωστικά φορτία).

6.3.4 Λιπαντικά.

Οι κυριότεροι τύποι λιπαντικών που χρησιμοποιούνται στις ναυτικές ΜΕΚ βασίζονται στα φυσικά ορυκτέλαια, τα οποία παράγονται κατά την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου. Οι τελικές μορφές των λιπαντικών προκύπτουν με κατάλληλες αναμείξεις των παραπάνω ***βασικών λαδιών*** (base stocks), με διάφορες χημικές ενώσεις (βελτιωτικά πρόσθετα). Τα πρόσθετα είτε προσδίδουν στα βασικά λάδια απαραίτητες ιδιότητες, τις οποίες στερούνται, είτε βελτιώνουν τις ήδη υπάρχουσες.

Ανάλογα με την προέλευσή τους, διακρίνονται δύο κατηγορίες βασικών λαδιών:

- ***Πρωτογενή***, τα οποία προέρχονται από το φυσικό πετρέλαιο.
- ***Αναγεννημένα*** ή ***επαναδιϋλισμένα***, τα οποία προέρχονται από χρησιμοποιημένα λάδια.

Τα πρωτογενή βασικά λάδια προκύπτουν:

- Από τα κλάσματα της αποστάξεως υπό κενό του υπολείμματος της ατμοσφαιρικής αποστάξεως (natural stocks).
- Ύστερα από εξευγενισμό των υπολειμμάτων, οπότε παράγονται διαυγή λάδια (bright stocks) και
- από ανάμειξη των παραπάνω.

α) Ορυκτέλαια.

Είναι η σπουδαιότερη κατηγορία λιπαντικών και καλύπτει σήμερα περίπου το 90% των εφαρμογών λιπάνσεως. Προέρχονται από τη διύλιση του αργού πετρελαίου στον πύργο αποστάξεως, μετά την απόληψη των υπολοίπων συστατικών που έχουν αποσταχθεί έως τους 360^o C. Το υπόλειμμα της αποστάξεως είτε χρησιμοποιείται ως βαρύ καύσιμο (μαζούτ) είτε υποβάλλεται σε παραπέρα επεξεργασία, κατά την οποία λαμβάνονται τα ορυκτέλαια.

Ουσιαστικά, τα ορυκτέλαια αποτελούνται από μείγμα υδρογονανθράκων. Οι πιο ενδιαφέρουσες ενώσεις, όσον αφορά στη σύνθεση των ορυκτελαίων, είναι οι παραφινικές, ναφθενικές και αρωματικές ενώσεις.

- Οι ***παραφινικές ενώσεις*** ή ***παραφίνες***, αποτελούνται από μόρια που παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα και δύσκολα ενώνονται χημικά, με άλλα υλικά. Τα άτομα στις παραφινικές ενώσεις είναι διατεταγμένα σε ανοικτή αλυσίδα, σε αντίθεση με τα άτομα των ναφθενικών ενώσεων ή ναφθενίων, που είναι διατεταγμένα με μορφή κλειστής αλυσίδας.
- Οι ***ναφθενικές ενώσεις*** είναι λιγότερο σταθερές από τις παραφινικές και δεν χρησιμοποιούνται πολύ σε λιπαντέλαια υψηλής ποιότητας.
- Οι ***αρωματικές ενώσεις*** που έχουν και αυτές δομή κλειστής αλυσίδας και είναι η βάση πολλών χημικών προϊόντων, δεν χρησιμοποιούνται παρά σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις στα λάδια των κινητήρων.

Στην πράξη, τα ορυκτέλαια εμφανίζονται ως μείγματα των τριών παραπάνω κατηγοριών και η ονομασία τους ***παραφινικό*** ή ***ναφθενικό ορυκτέλαιο*** δηλώνει την ομάδα, που επικρατεί στο μείγμα.

Η ευρεία εφαρμογή τους οφείλεται στην εξαιρετική χημική σταθερότητά τους, στην αρκετά καλή πρόσφυσή τους στις μεταλλικές επιφάνειες, στο ότι καλύπτουν μεγάλη περιοχή ιξώδους και τέλος ότι έχουν σχετικά μικρό κόστος παραγωγής.

β) Συνθετικά λιπαντικά.

Τα ***συνθετικά λιπαντικά*** είναι προϊόντα χημικής αντιδράσεως διαφόρων συστατικών υπό ορισμένες ελεγχόμενες συνθήκες, και διαθέτουν προκαθορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες. Πολλές φορές, οι ιδιότητες αυτές βελτιώνονται με τη χρήση προσθέτων ουσιών, ενώ είναι πιθανή και η ανάμειξη του συνθετικού λαδιού με ορυκτέλαιο (για να θεωρηθεί ένα λιπαντικό συνθετικό, πρέπει το ορυκτέλαιο να είναι λιγότερο από 14%).

Τα πλεονεκτήματα των συνθετικών λιπαντικών είναι κυρίως, η ικανοποιητική ρευστότητά τους στις χαμηλές θερμοκρασίες και η ανθεκτικότητά τους στην οξείδωση στις υψηλές θερμοκρασίες.

Οι κυριότεροι τύποι συνθετικών λιπαντικών παρασκευάζονται από συνθετικούς και αρωματικούς υδρογονάνθρακες, πολυολεφίνες και πολυβουτένια, οργανικούς εστέρες, διβασικούς οξικούς εστέρες και πυριτικούς εστέρες, πολυγλυκόλες και συλικόνες.

Εκτός από τα ήδη προαναφερθέντα, άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα των συνθετικών λιπαντικών ως προς τα ορυκτέλαια είναι:
- Χαμηλό σημείο ροής.
- Μεγαλύτερη αντοχή στην οξείδωση.
- Υψηλός δείκτης ιξώδους.
- Χημική αδράνεια και έλλειψη τοξικότητας.
- Χαμηλότερη τάση ατμών.
- Υψηλότερο σημείο αναφλέξεως.
- Καλύτερη λιπαντικότητα.

Παρόλα αυτά έχουν συνήθως υψηλό κόστος κτήσεως (μέχρι και δεκαπλάσιο των ορυκτελαίων) και σε ειδικές περιπτώσεις δεν είναι συμβατά με τα υλικά των εδράνων και των διαφόρων παρεμβυσμάτων στεγανοποιήσεως). Ορισμένα συνθετικά λιπαντικά είναι συμβατά με τα ορυκτέλαια και με την ανάμειξή τους προκύπτουν βελτιωμένα λιπαντικά. Τα κύρια χαρακτηριστικά των συνθετικών λιπαντικών δίνονται στον πίνακα Π.Α.6 του Παραρτήματος Α.

γ) Λιπαντικά λίπη (γράσσα).

Τα ***λιπαντικά λίπη*** είναι στερεά έως ημίρρευστα προϊόντα, τα οποία αποτελούνται από ένα βασικό ρευστό λάδι, στο οποίο προστίθεται ***πηγματικό μέσο*** και ***βελτιωτικά πρόσθετα***. Τα χρησιμοποιούμενα πηγματικά μέσα είναι σάπωνες ανωτέρων λιπαρών οξέων, ανόργανες ουσίες και πολυμερή. Τα λίπη χρησιμοποιούνται στις ακόλουθες περιπτώσεις:
- Όταν είναι επιθυμητή η στεγανοποίηση του συστήματος και η προστασία του από σκόνη, υγρασία, νερό κ.λ.π.
- Όταν δεν είναι προσιτό το σημείο λιπάνσεως ή δεν είναι επιθυμητή η συχνή αναλίπανση.
- Όταν οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες είναι πολύ μεγάλες (οπότε χρησιμοποιούνται λίπη που περιέχουν στερεά λιπαντικά, όπως γραφίτης και θειούχο μολυβδαίνιο.

Χρησιμοποιούνται για τη λίπανση εδράνων κυλίσεως, εδράνων ολισθήσεως, οδοντωτών τροχών,

αλυσίδων, συρματοσχοίνων, πολυσφήνων κ.λ.π.

δ) Στερεά λιπαντικά.

Τα ***στερεά λιπαντικά*** είναι ουσίες που στη συνηθισμένη θερμοκρασία βρίσκονται σε στερεά κατάσταση, ενώ η λιπαντική τους δράση οφείλεται στη μικρή τους αντοχή στη διάτμηση. Οι κυριότερες ουσίες που χρησιμοποιούνται ως στερεά λιπαντικά είναι ο γραφίτης, το θειούχο μολυβδαίνιο, ο τάλκης και η μίκα.

Οι ιδιότητες που πρέπει να συγκεντρώνει ένα στερεό λιπαντικό είναι η καλή πρόσφυσή του με τις μεταλλικές επιφάνειες που τρίβονται, η ελαστικότητα και η ευκαμψία, η σταθερότητα στις υψηλές θερμοκρασίες και η μη προσβολή των μεταλλικών επιφανειών. Το κύριο πλεονέκτημά τους έναντι των υγρών λιπαντικών είναι η αντοχή τους σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες. Το θειούχο μολυβδαίνιο και ο γραφίτης είναι τα πλέον χρησιμοποιούμενα στερεά λιπαντικά, διότι η αντοχή τους φτάνει μέχρι τους 400^o C. Ειδικά το πρώτο, χρησιμοποιείται ως πρόσθετο σε υγρά και ημίρρευστα λιπαντικά για την αύξηση της αντοχής τους στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες (πρόσθετο υψηλής πιέσεως).

ε) Κυλινδρέλαια.

Τα ***κυλινδρέλαια*** χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των κυλίνδρων σε πετρελαιομηχανές που διαθέτουν βάκτρο και ζύγωμα (μεγάλες αργόστροφες πετρελαιομηχανές). Η παρουσία του ζυγώματος επιτρέπει να χρησιμοποιείται διαφορετικό λιπαντικό στον κύλινδρο από την υπόλοιπη μηχανή. Τα κυλινδρέλαια (τα οποία καίγονται εντός του κυλίνδρου, άρα είναι αναλώσιμα) έχουν υψηλή αλκαλικότητα 85-100 TBN και ιξώδες SAE 40 ή 50. Η υψηλή αλκαλικότητά τους είναι απαραίτητη για την εξουδετέρωση των οξέων του θείου, που υπάρχει στα βαρέα καύσιμα των παραπάνω μηχανών. Τα κυλινδρέλαια πρέπει να έχουν υψηλή ικανότητα εξαπλώσεως στην επιφάνεια του χιτωνίου και προσκολλήσεως στο μέταλλο, έτσι ώστε με μια μικρή ποσότητα που προστίθεται σε κάθε κύκλο (της τάξεως του 1 g) να μπορεί να λιπανθεί μία επιφάνεια της τάξεως των 7 m^2. Οι επιθυμητές ιδιότητες των κυλινδρελαίων είναι οι ακόλουθες:

- Υψηλό ιξώδες και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Υψηλή ικανότητα εξαπλώσεως και προσκολλήσεως στα μέταλλα του χιτωνίου.
- Αντοχή σε υψηλές πιέσεις.
- Ικανότητα ταχείας εξουδετερώσεως των παραγομένων οξέων κατά την καύση βαρέος πετρελαίου.
- Ικανότητα διαλύσεως των καταλοίπων της καύσεως για την αποφυγή δημιουργίας επικαθήσεων εξανθρακωμάτων (στις θυρίδες και στα ελατήρια των εμβόλων).

Η επίτευξη των παραπάνω ιδιοτήτων πραγμα-τοποιείται με τη χρησιμοποίηση ειδικών προσθέτων.

στ) Κυκλοφορούντα λάδια.

Τα κυκλοφορούντα λάδια χρησιμοποιούνται στις μηχανές που υπάρχει διαφορετική λίπανση του χιτωνίου με κυλινδρέλαιο. Τα κυκλοφορούντα λάδια χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τη λίπανση των τριβέων και την ψύξη της κεφαλής του εμβόλου. Το ιξώδες τους τα κατατάσσει σε κατηγορία μικρότερη από SAE 30 και η αλκαλικότητά τους επίσης είναι πολύ μικρή (5 - 10 TBN).

6.3.5 Ιδιότητες λιπαντικών.

Οι ιδιότητες των λιπαντικών είναι ανάλογες με αυτές του πετρελαίου, οι οποίες και αναφέρθηκαν στην παράγραφο 6.2.2.

α) Ιξώδες (viscosity).

Το ***ιξώδες*** είναι η σημαντικότερη ιδιότητα του λιπαντικού, αφού καθορίζει τη λιπαντική του δράση. Αποτελεί ένα μέτρο υπολογισμού των εσωτερικών τριβών του ρευστού. Στα λεπτόρρευστα λάδια το ιξώδες παίρνει χαμηλότερες τιμές από ό,τι στα παχύρρευστα, ενώ το ιξώδες στα υγρά μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Ο υπολογισμός του κινηματικού ιξώδους σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία γίνεται είτε γραφικά από διαγράμματα (βλ. Διαγράμματα 3 και 4 του Παραρτήματος Α), είτε με βάση την επόμενη σχέση, αν είναι γνωστό το ιξώδες του σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες:

$$\text{loglog}\,(\nu + 0{,}7) = A + B \log T$$

όπου ν το κινηματικό ιξώδες (σε cSt) στη θερμοκρασία T (σε K) και A, B σταθερές εξαρτώμενες από τον τύπο του λιπαντικού. Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση στις δύο θερμοκρασίες, που είναι γνωστό το ιξώδες, προσδιορίζονται οι δύο σταθερές A και B της παραπάνω σχέσεως. Στη συνέχεια, με γνωστά A και B, η σχέση εφαρμόζεται για την τρίτη θερμοκρασία, όπου το κινηματικό ιξώδες ζητείται.

Για τον υπολογισμό του ιξώδους λιπαντικού που έχει προέλθει από την ανάμειξη δύο διαφορετικών λιπαντικών, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$x \times \log\log(\nu_A + 0{,}7) + (1-x) \times \log\log(\nu_B + 0{,}7) = = \log\log(\nu + 0{,}7)$$

όπου ν το άγνωστο ιξώδες, Α και Β οι δείκτες των δύο αρχικών λιπαντικών με ιξώδη ν_A και ν_B και x η κατ' όγκον αναλογία του συστατικού Α στο μείγμα.

Ο παραπάνω υπολογισμός μπορεί να γίνει και γραφικά χρησιμοποιώντας διαγράμματα, που δίνουν οι προμηθεύτριες εταιρείες λιπαντικών.

Ο ***δείκτης ιξώδους VI*** (viscosity index) εκφράζει την αντίσταση του λαδιού στη μεταβολή του ιξώδους του, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία και χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο αριθμό. Όσο πιο μικρός είναι αυτός ο αριθμός, τόσο πιο εύκολα μεταβάλλεται η ρευστότητα του λαδιού με τη θερμοκρασία. Αντίθετα, όσο πιο μεγάλος είναι, τόσο πιο σταθερή ρευστότητα έχει το λάδι. Ο δείκτης ιξώδους διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του, ***HVI*** (High V.I. – υψηλός δείκτης ιξώδους με τιμές μεγαλύτερες του 85), ***MVI*** (Medium V.I. – μέσος δείκτης ιξώδους με τιμές μεταξύ 75 και 35) και ***LVI*** (Low V.I. – χαμηλός δείκτης ιξώδους με τιμές μικρότερες του 30). Ειδικά λάδια με πρόσθετα (για ειδικές εφαρμογές) διαθέτουν τιμές του VI μεγαλύτερες του 100 (π.χ. λάδια υδραυλικών συστημάτων, αεροπορικά, καταστρώματος πλοίων κ.λ.π.).

Ο δείκτης ιξώδους είναι ακέραιος αριθμός και προσδιορίζεται με εμπειρική πρότυπη μέθοδο (ASTM D-2270). Αν με Υ συμβολίσομε το ιξώδες του λιπαντικού στους 100° C, U το ιξώδες του λιπαντικού στους 40° C, με L το ιξώδες πρότυπου λιπαντικού με VI=0, στους 40° C και με Η το ιξώδες πρότυπου λιπαντικού με VI=100, στους 40° C, τότε ο δείκτης ιξώδους του προς εξέταση λιπαντικού προκύπτει:

$$V.I. = \frac{L-U}{L-H} \times 100$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για λιπαντικά με δείκτη ιξώδους μικρότερο του 100. Τα σύγχρονα όμως λιπαντικά έχουν συνήθως V.I. μεγαλύτερο του 100 και στην περίπτωση αυτή, η σχέση προσδιορισμού του δίδεται:

$$V.I. = 100 + (10N - 1) / 0{,}00715$$

όπου

$$N = (\log H - \log U) / \log Y$$

Τα λιπαντικά βάσεως (base stocks) σπάνια έχουν V.I. μεγαλύτερο του 105. Οι απαιτήσεις όμως συχνά προδιαγράφουν λιπαντικά με VI μεγαλύτερο του 150. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών προσθέτων (VI Improvers - VII).

Τα λιπαντικά κατατάσσονται κατά SAE σε 6 διαβαθμίσεις (βλ. Διάγραμμα 5 του Παραρτήματος Α), οι οποίες χαρακτηρίζονται με το πρόθεμα W (για το Winter), ανάλογα με το δυναμικό ιξώδες στις χαμηλές θερμοκρασίες (0 W, 5 W, 10 W, 15 W, 20 W, 25 W) και 4 διαβαθμίσεις βαρυτέρων ποιοτήτων, ανάλογα με το κινηματικό ιξώδες στους 100° C (20, 30, 40, 50). Οι τιμές του ιξώδους για τις παραπάνω κατηγορίες δίδονται στον πίνακα Π.Α.7 του Παραρτήματος Α.

Το σύστημα κατατάξεως κατά SAE τείνει να αντικατασταθεί από το πρότυπο ISO 3448, σύμφωνα με το οποίο τα λιπαντικά κατατάσσονται σε 18 κατηγορίες με βάση την τιμή του κινηματικού ιξώδους τους (σε cSt) μετρημένου στους 40° C. Κάθε κατηγορία περιέχει λιπαντικά με ιξώδες ίσο με την τιμή της κατηγορίας ± 10%. Για παράδειγμα η κατηγορία ISO 10 περιλαμβάνει τα λιπαντικά με κινηματικό ιξώδες από 9 έως 11 cSt στους 40° C. Η αντιστοιχία στην ταξινόμηση κατά ISO δίδεται στον πίνακα Π.Α.8 του Παραρτήματος Α. Η ταξινόμηση αυτή αναφέρεται σε όλα τα είδη και τις κατηγορίες λιπαντικών, για κάθε εφαρμογή (από το πετρέλαιο έως τα βαρέα κυλινδρέλαια).

β) Οξύτητα και αλκαλικότητα.

Η ***οξύτητα*** ενός λιπαντικού (η περιεκτικότητα δηλαδή σε ελεύθερα οξέα) χαρακτηρίζεται από τον ***αριθμό εξουδετερώσεως***, ο οποίος δίνει τα mg καυστικού καλίου που απαιτούνται για την εξουδετέρωση των ελευθέρων οξέων σε 1 g λιπαντικού.

Συνήθως τα λιπαντικά με πρόσθετα δεν έχουν οξύτητα αλλά είναι αλκαλικά, για να εξουδετερώνουν τα οξείδια του θείου που σχηματίζονται κατά την καύση του καυσίμου. Η ***αλκαλικότητα*** του λιπαντικού εκφράζεται με τον ***ολικό αριθμό βάσεως*** (***Total Base Number***), που δείχνει την ισοδύναμη ποσότητα (σε mg) καυστικού καλίου ανά γραμμάριο λιπαντικού. Λιπαντικά με TBN 70-80 είναι κατάλληλα για καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο.

γ) Σημείο ροής (pour point).

Το σημείο ροής ορίζεται όπως και για το πετρέλαιο.

Από το σημείο ροής εξαρτάται η ικανότητα αντλήσεως του λαδιού σε χαμηλές θερμοκρασίες και η

ικανότητα ροής του μόνο με την επίδραση της βαρύτητας. Μεταβάλλεται ανάλογα με την προέλευση του ορυκτελαίου. Τα παραφινικής προελεύσεως λιπαντικά έχουν γενικά υψηλότερο σημείο ροής, το οποίο μειώνεται με την απομάκρυνση των παραφινικών συστατικών του.

δ) Χημική σταθερότητα και αντοχή στην οξείδωση (oxidation stability).

Η ***χημική σταθερότητα*** αναφέρεται στην ικανότητα του λιπαντικού να μην αλλοιώνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα, το νερό ή τα μέταλλα, με τα οποία έρχεται σε επαφή. Αλλοίωση του λιπαντικού επιφέρει τη δημιουργία ιζήματος και πισσωδών συστατικών, αύξηση του ιξώδους, αύξηση της επικαθήσεως εξανθρακωμάτων, ενώ από την οξείδωσή του αποκτά διαβρωτικές ιδιότητες.

Σε περίπτωση που το λιπαντικό εκτοξεύεται σε μορφή δέσμης ή νέφους είναι επόμενο να υπάρχει ταχύτερη οξείδωσή του, λόγω της μεγαλύτερης επαφής του με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επίσης, η παρουσία ρινισμάτων, οι συνεχείς διακυμάνσεις της θερμοκρασίας καθώς και η παρουσία οξειδίων του θείου (από το καύσιμο) επιταχύνουν την οξείδωση του λιπαντικού.

Η ***αντοχή στην οξείδωση*** ελέγχεται εργαστηριακά, υποβάλλοντας δείγμα του λιπαντικού σε καταπόνηση σε παρόμοιες συνθήκες με αυτές του κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διατήρησή του σε σταθερή θερμοκρασία και με την παρουσία αέρα και μεταλλικών ράβδων (σίδηρος – χαλκός) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η αύξηση της οξύτητας του λιπαντικού μετρείται με τον αριθμό εξουδετερώσεως.

ε) Περιεκτικότητα σε τέφρα.

Ο βαθμός καθαρότητας ενός λιπαντικού (όσον αφορά στις στερεές ανόργανες προσμείξεις) ελέγχεται εάν προσδιορίσομε την ποσότητα της τέφρας που απομένει μετά την τέλεια καύση συγκεκριμένης ποσότητας χρησιμοποιημένου λιπαντικού. Υπερβολική αύξηση του ποσοστού της τέφρας σε δείγμα λιπαντικού δίνει ενδείξεις μολύνσεώς του (με ρινίσματα μετάλλου, σκόνη, άμμο κ.λ.π.), ανάλογα με τις συνθήκες και τη γεωγραφική περιοχή λειτουργίας του κινητήρα.

στ) Πτητικότητα.

Πτητικότητα του λιπαντικού είναι η τάση δημιουργίας ατμών λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που παρατηρούνται στις συνθήκες λειτουργίας της μηχανής. Μέτρο της πτητικότητας είναι το σημείο αναφλέξεως του λιπαντικού.

ζ) Σημείο αναφλέξεως (flash point).

Το σημείο αναφλέξεως ορίζεται όπως και για το πετρέλαιο.

Το σημείο αναφλέξεως εξαρτάται από την προέλευση του λιπαντικού. Κατά κανόνα τα ναφθενικής βάσεως λιπαντικά διαθέτουν χαμηλότερα σημεία αναφλέξεως συγκρινόμενα με ορυκτέλαια παραφινικής βάσεως (με το ίδιο ιξώδες).

Το σημείο αναφλέξεως είναι σημαντικό για τα αμεταχείριστα λιπαντικά όσον αφορά στην ασφάλεια μεταφοράς και αποθηκεύσεώς τους. Μεγαλύτερη όμως σημασία έχει το σημείο αναφλέξεως για τα μεταχειρισμένα λιπαντικά. Η μείωση της τιμής του κάτω από ορισμένα όρια, σε σχέση με αυτήν του αμεταχείριστου, μαρτυρεί την παρουσία καυσίμου στο λιπαντικό, κάτι που συνήθως οφείλεται σε διαρροή. Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του λιπαντικού σε καύσιμο υπερβεί το 5%, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος εκρήξεως στο στροφαλοθάλαμο.

η) Σημείο καύσεως.

Το σημείο καύσεως ορίζεται όπως και για το πετρέλαιο.

Όπως και για το σημείο αναφλέξεως, κατά κανόνα τα ναφθενικής βάσεως λιπαντικά διαθέτουν χαμηλότερα σημεία καύσεως, συγκρινόμενα με ορυκτέλαια παραφινικής βάσεως (με το ίδιο ιξώδες).

θ) Σημείο αυταναφλέξεως.

Το σημείο αυταναφλέξεως ορίζεται όπως και για το πετρέλαιο.

ι) Σημείο νεφώσεως (cloud point).

Το ***σημείο νεφώσεως*** είναι η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η κρυστάλλωση της παραφίνης στο εσωτερικό του λιπαντικού. Λόγω της παρουσίας των κρυστάλλων, το λιπαντικό γίνεται θολό. Το ***σημείο θολώσεως*** είναι συνήθως μεγαλύτερο του σημείου ροής του λιπαντικού. Τα λιπαντικά ναφθενικής προελεύσεως έχουν χαμηλότερο σημείο θολώσεως από τα αντίστοιχα παραφινικής προελεύσεως.

ια) Πυκνότητα.

Η πυκνότητα του λιπαντικού είναι κρίσιμη ιδιότητα, διότι επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία καθαρισμού του στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές.

Η πυκνότητα του λιπαντικού μπορεί να χαρακτηρίζεται (εκτός από τον τυπικό τρόπο σε kg/m^3) και με τη χρήση της ***σχετικής πυκνότητας*** (SG - Specific Gravity) ως προς το νερό. Στο μετρικό σύστημα μονάδων η σχετική πυκνότητα δίδεται ως ο λόγος βαρών ίσων όγκων λαδιού και νερού, με τη θερμοκρασία του νερού στους 4^o C (όπου έχει πυκνότητα 1000 kg/m^3) και του λαδιού συνήθως στους 15^o C.

ιβ) Χρώμα.

Το ***χρώμα*** ελέγχεται με την τοποθέτηση διαφανούς φιαλιδίου με λιπαντικό εμπρός από πηγή φωτός. Το χρώμα σε αμεταχείριστα λιπαντικά διαφέρει ανάλογα με τον τύπο και την προέλευση του λιπαντικού και είναι γενικά ανοικτόχρωμο. Στα μεταχειρισμένα λιπαντικά το χρώμα γίνεται πιο σκούρο, ως αποτέλεσμα της οξειδώσεως ή της μολύνσεώς του από τα αιωρούμενα εξανθρακώματα (τα οποία συγκρατούνται λόγω της υπάρξεως ειδικών προσθέτων). Αυτό σημαίνει ότι το λιπαντικό εκτελεί σωστά την αποστολή του, που είναι η λίπανση και η διατήρηση καθαρών των τριβομένων επιφανειών.

ιγ) Θερμική σταθερότητα.

Η ***θερμική σταθερότητα*** χαρακτηρίζει την ικανότητα του λιπαντικού να αντιστέκεται στην αποσύνθεσή του, λόγω της εκθέσεώς του σε υψηλές θερμοκρασίες. Η υψηλή θερμική σταθερότητα συντελεί στην αύξηση της διάρκειας ζωής του λιπαντικού.

ιδ) Αντιαφριστική ικανότητα.

Το λάδι πρέπει να μην σχηματίζει αφρό κατά την κυκλοφορία του μέσα στο κύκλωμα ή κατά την παρουσία του στη δεξαμενή. Η παρουσία αφρού έχει ως αποτελέσματα την αύξηση του κινδύνου σπηλαιώσεως στην αντλία λαδιού, τη μείωση της ποσότητας του λιπαντικού που καταλήγει στις λιπαινόμενες επιφάνειες και την καταστροφή της λιπαντικής μεμβράνης μεταξύ των τριβομένων επιφανειών, λόγω της παρουσίας του αέρα (ο οποίος, σε αντίθεση με το λιπαντικό, είναι συμπιεστός). Επίσης, ο αφρός στην επιφάνεια της δεξαμενής ελαίου οδηγεί σε λανθασμένη ένδειξη της στάθμης του λιπαντικού.

ιε) Αντισκωριακή προστασία.

Η ***αντισκωριακή προστασία*** του λαδιού εξαρτάται από την ικανότητα προσφύσεως του λαδιού στις μεταλλικές επιφάνειες με τις οποίες έρχεται σε επαφή. Δημιουργεί έτσι μια λεπτή μεμβράνη λιπαντικού, απομονώνοντας το διαβρωτικό ατμοσφαιρικό αέρα από το μέταλλο, όταν η μηχανή δεν βρίσκεται σε λειτουργία. Η ικανότητα αυτή του λαδιού αυξάνεται με τη χρήση ειδικών προσθέτων.

ιστ) Υπόλειμμα καθαρού άνθρακα.

Η τάση ενός τύπου λιπαντικού να δημιουργεί εξανθρακώματα υπολογίζεται με τα πειράματα Conradson και Ramsbottom, όπως στην περίπτωση των πετρελαίων.

Η τιμή του υπολείμματος καθαρού άνθρακα στα παραπάνω πειράματα για τα περισσότερα λιπαντέλαια ΜΕΚ δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,3%, ενώ στα κυλινδρέλαια μπορεί να φτάσει και στο 3%.

ιζ) Αριθμός απογαλακτώσεως (demulsification number).

Γαλάκτωμα ονομάζομε το διάλυμα του λιπαντικού με το νερό. Το λιπαντικό πρέπει να διαθέτει υψηλή ικανότητα απογαλακτώσεως, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο διαχωρισμός του νερού, με καθίζηση στις δεξαμενές, στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές και στα αντίστοιχα φίλτρα. ***Αριθμός απογαλακτώσεως*** είναι ο χρόνος πλήρους διαχωρισμού του νερού με καθίζηση από τεχνητά δημιουργημένο γαλάκτωμα. Ο χρόνος αυτός δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 λεπτά. Γενικά, τα χρησιμοποιημένα λιπαντικά εμφανίζουν μεγαλύτερο χρόνο διαχωρισμού.

ιη) Περιεκτικότητα σε νερό.

Η ***περιεκτικότητα σε νερό*** ενός λιπαντικού, προσδιορίζεται συνήθως με απόσταξη, αφού αραιωθεί με κατάλληλο διαλύτη. Τα αχρησιμοποίητα λιπαντέλαια δεν πρέπει να περιέχουν καθόλου νερό, ενώ στα μεταχειρισμένα επιτρέπεται κάποια μικρή περιεκτικότητα, η οποία προέρχεται από την προσρόφηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Το νερό που απομονώνεται από το λιπαντικό, υποβάλλεται σε παραπέρα εργαστηριακό έλεγχο, για να διαπιστωθεί, αν περιέχει άλλα συστατικά και κυρίως χλωριούχο νάτριο. Η παρουσία του στο διαχωρισμένο νερό δείχνει ότι είναι θαλασσινό και προέρχεται από το δίκτυο ψύξεως, οπότε επισημαίνεται πιθανή διαρροή στο σύστημα ψύξεως. Το χλωριούχο νάτριο είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό για τα έδρανα. Μικρές διαρροές θαλασσινού νερού ψύξεως προς το σύστημα λιπάνσεως δεν γίνονται αμέσως αντιληπτές λόγω εξατμίσεως του νερού, οπότε εμφανίζεται μόνο χλωριούχο νάτριο στο λιπαντικό χωρίς την παρουσία νερού.

6.3.6 Βελτιωτικά πρόσθετα.

Τα καθαρά ορυκτέλαια αδυνατούν να αντιμετωπίσουν τις συνθήκες λειτουργίας των συγχρόνων ΜΕΚ. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα, που βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά των ορυκτελαίων. Τα ***βελτιωτικά πρόσθετα*** μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να αποφευχθούν ***συγκεκριμένα*** στάδια στη διύλιση των ορυκτελαίων.

Τα πρόσθετα προστίθενται στο λιπαντικό σε αναλογίες που μπορούν να ξεπεράσουν το 10% κατά βάρος. Οι κυριότερες κατηγορίες προσθέτων, που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των λαδιών, είναι οι παρακάτω:

1) ***Βελτιωτικά του δείκτη ιξώδους***. Πρόκειται για ενώσεις (πολυμερή), που, όταν προστεθούν στο λιπαντικό, διατηρούν κατά το δυνατόν σταθερή τη ρευστότητά του τόσο στις υψηλές όσο και στις χαμηλές θερμοκρασίες. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ικανότητά τους να σχηματίζουν σπείρες στις χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ στις υψηλές θερμοκρασίες ξετυλίγονται, αυξάνοντας τον όγκο που καταλαμβάνουν εντός του ρευστού. Έτσι, στις χαμηλές θερμοκρασίες δεν εμποδίζουν τη ροή του λιπαντικού, ενώ στις υψηλές θερμοκρασίες όπου μειώνεται το ιξώδες, διογκούμενα δυσχεραίνουν την κίνηση του λιπαντικού, αντισταθμίζοντας έτσι τη μείωση του ιξώδους με την αύξηση της θερμοκρασίας.

2) ***Αντιοξειδωτικά πρόσθετα***. Εμποδίζουν ή επιβραδύνουν την οξείδωση του λιπαντικού, η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της λιπαντικής ικανότητας και τη διάβρωση των τριβομένων μεταλλικών επιφανειών. Ειδικά, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας του λιπαντικού, η δράση των οξειδωτικών ενώσεων είναι ισχυρότερη, λόγω της αυξημένης προσροφήσεως οξυγόνου, οπότε είναι απαραίτητη η πρόσθεση των παραπάνω αντιοξειδωτικών ενώσεων. Κατά την οξείδωση του λαδιού σχηματίζονται παχύρρευστες ενώσεις και οργανικά οξέα. Οι παχύρρευστες ενώσεις αυξάνουν το ιξώδες του λιπαντικού, ενώ τα οξέα προσβάλλουν τους τριβείς (ειδικά, τους τριβείς από κράματα χαλκού-μολύβδου).

3) ***Καταστολείς διαβρώσεως***. Προστατεύουν τον κινητήρα από τη διάβρωση λόγω των προϊόντων της οξειδώσεως του λιπαντικού. Τα μεταλλικά διθειανθρακικά και διθειοφωσφορικά άλατα είναι χαρακτηριστικοί καταστολείς διαβρώσεως.

4) ***Ταπεινωτές σημείου ροής***. Χαμηλώνουν το σημείο ροής του λιπαντικού, για να αποφεύγονται τα προβλήματα λειτουργίας του κινητήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τέτοια πρόσθετα είναι οι βινυλοκαρβοξυλικές ενώσεις.

5) ***Αντιαφριστικά***. Εμποδίζουν τη δημιουργία φυσαλίδων κατά την ανάμειξη του λιπαντικού με τον αέρα. Οι φυσαλίδες αυτές θα είχαν ως συνέπεια τη μείωση της λιπαντικής του ικανότητας.

6) ***Καθαριστικά***. Έχουν την ικανότητα να περιορίζουν τις αποθέσεις διαφόρων ρύπων (εξανθρακώματα, τέφρα) στις ΜΕΚ. Τέτοια πρόσθετα είναι τα φωσφορικά και φαινολικά άλατα και έχουν μεγάλη σημασία για τη διατήρηση της καθαρότητας των τριβομένων επιφανειών και τη μείωση της φθοράς τους.

7) ***Πρόσθετα υψηλών πιέσεων***. Αντιδρούν χημικά με τις τριβόμενες επιφάνειες, σχηματίζοντας ένα στρώμα μεταξύ τους, το οποίο είναι ανθεκτικό σε υψηλά φορτία και θερμοκρασίες (οριακή λίπανση).

8) ***Πρόσθετα απογαλακτωματοποιήσεως***. Προστίθενται στο λιπαντικό για τον εύκολο διαχωρισμό του νερού από το λιπαντικό είτε μέσω καθιζήσεως στη δεξαμενή, είτε στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές και στα φίλτρα. Έτσι δεν χρησιμοποιείται γαλακτοποιημένο λιπαντικό, το οποίο λόγω του νερού, έχει αυξημένη διαβρωτική επίδραση. Το φαινόμενο της γαλακτωματοποιήσεως είναι ιδιαίτερα έντονο στην περίπτωση των ατμοστροβίλων.

9) ***Αλκαλικά πρόσθετα***. Τα αλκαλικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται για την προστασία του κυλίνδρου από τη διαβρωτική δράση των οξέων του θείου, το οποίο περιέχεται ειδικά στα βαρύτερα καύσιμα των ΜΕΚ. Τα κυριότερα από αυτά είναι συνδυασμός μεταλλικών σαπώνων, που μετατρέπονται σε αλκαλικά με προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου. Η προσθήκη διασκορπιστών βοηθά στην αποφυγή των επικαθήσεων. Τα πρόσθετα αυτά αυξάνουν παράλληλα το ιξώδες και την αντοχή του λιπαντικού στις υψηλές θερμοκρασίες και στις πιέσεις του θαλάμου καύσεως.

6.3.7 Έλεγχοι χρησιμοποιημένων λιπαντικών.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ελέγχου των λιπαντικών στο πλοίο με τη χρήση απλών συσκευών μετρήσεως (test kits) και σε εξοπλισμένα εργαστήρια, με τη χρήση μεθόδων αναλύσεως μεγαλύτερης ακρίβειας. Για την ανάλυση του λιπαντικού είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν οι τυποποιημένες μέθοδοι κατά ISO, που είναι και ευρύτερα διαδεδομένες. Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμος ο σχετικός εξοπλισμός, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τυποποιημένες μέθοδοι κατά ASTM.

α) Έλεγχος λιπαντελαίων στο πλοίο με τη χρήση απλών συσκευών μετρήσεως «test kits».

Πριν τον έλεγχο γίνεται δειγματοληψία από έναν κρουνό, ο οποίος βρίσκεται μετά το φίλτρο λαδιού. Η μηχανή πρέπει να λειτουργεί και το λάδι να μην περιέχει εξανθρακώματα ή νερό.

Στο πλοίο με τη χρήση απλών συσκευών μετρήσεως (test kits) ελέγχεται η κατάσταση του λαδιού, ως προς τις παρακάτω ιδιότητες:

1) ***Ιξώδες.*** Ελέγχεται με τη χρήση ιξωδομέτρου ή με συσκευή τριών σωλήνων που περιέχουν σφαιρίδια. Οι δύο ακραίοι σωλήνες χρησιμοποιούνται για καθαρό λάδι SAE 20 και SAE 40, ενώ ο μεσαίος σωλήνας για το μεταχειρισμένο λάδι SAE 30. Με την κλίση της συσκευής, το σφαιρίδιο του μεσαίου σωλήνα πρέπει να πέσει μετά από το SAE 20, αλλιώς έχει διαρρεύσει πετρέλαιο στο λάδι, και πριν από το SAE 40, διαφορετικά το λάδι περιέχει πολλά εξανθρακώματα και πρέπει να αντικατασταθεί.

2) ***Αδιάλυτες ουσίες (insolubles).*** Ο έλεγχος γίνεται κυρίως για τα εξανθρακώματα με τη μέθοδο της σταγόνας (spot test). Ρίχνομε μια σταγόνα λάδι πάνω σε ένα χάρτινο φίλτρο και αφήνομε να στεγνώσει. Στη συνέχεια, γίνεται σύγκριση με τυποποιημένες κηλίδες πέντε διαφορετικών αποχρώσεων αυξανόμενης προοδευτικά σκουρότητας. Η ομοιότητα με την πιο ανοικτόχρωμη κηλίδα αναφέρεται σε καλή ποιότητα λαδιού, η ομοιότητα με την τέταρτη κηλίδα επιβάλλει εργαστηριακό έλεγχο, ενώ η ομοιότητα με την πέμπτη κηλίδα επιβάλλει αντικατάσταση του λαδιού.

3) ***Αριθμός εξουδετερώσεως οξύτητας (neutralisation number).*** Ο έλεγχος γίνεται ως εξής: λαμβάνεται ίση ποσότητα λαδιού και απεσταγμένου νερού, τα οποία αναμειγνύονται. Στη συνέχεια αφήνεται να κατακαθίσει το νερό, το οποίο και ελέγχεται με δείκτη Ph. Με Ph έως 5 το λάδι είναι ανεκτό. Κάτω του 3 το λάδι φαίνεται ότι έχει αρχίσει να διαβρώνεται.

4) ***Περιεκτικότητα σε νερό.*** Θερμαίνεται δείγμα λαδιού σε γυάλινο σωλήνα με φλόγα, ενώ ταυτόχρονα αναταράσσεται συνεχώς. Αν το λάδι αφρίζει, αυτό σημαίνει ότι έχει πολύ νερό και πρέπει να αντικατασταθεί.

β) Έλεγχος λιπαντελαίων στο εργαστήριο (χημική ανάλυση).

Αφού γίνει η δειγματοληψία κατά τη λειτουργία της μηχανής, το λάδι τοποθετείται σε καθαρή γυάλινη φιάλη. Έξω από τη φιάλη αναγράφεται το όνομα του πλοίου, το είδος του λαδιού, οι ώρες λειτουργίας κ.λ.π. Στη συνέχεια, το λάδι αποστέλλεται σε ειδικευμένο εργαστήριο για χημική ανάλυση, η οποία είναι και η πιο αξιόπιστη μέθοδος ελέγχου. Το δείγμα στέλνεται για έλεγχο, όταν έχουν συμπληρωθεί οι ώρες λειτουργίας που ορίζει ο κατασκευαστής, εκτός αν το λάδι έχει παρουσιάσει αποσύνθεση (μεγάλες κατακαθίσεις κ.λ.π.), κάτι που έχει διαπιστωθεί με τη χρήση των test kits. Επίσης κάθε 6 μήνες αποστέλλονται δείγματα για εξέταση, ανεξαρτήτως ωρών λειτουργίας.

Η δειγματοληψία πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες που ορίζει ο κατασκευαστής. Γενικά, πρέπει να γίνεται πάντα από το ίδιο σημείο, με τη μηχανή σε λειτουργία και αφού το λάδι ήδη έχει φθάσει στις κανονικές του συνθήκες. Η εξαγωγή του λαδιού γίνεται από ειδικό κρουνό στον κύριο αγωγό προσαγωγής προς την κύρια μηχανή (συνήθως, μετά τα φίλτρα). Πριν τη δειγματοληψία καθαρίζεται ο κρουνός από τα υπολείμματα και αφήνεται να τρέξει λάδι, για να αποφευχθεί η εισαγωγή υπολειμμάτων. Το λάδι τοποθετείται κατ' ευθείαν σε καθαρές γυάλινες φιάλες χωρητικότητας 1 lt. Για μεγάλες μηχανές (> 2MW) λαμβάνονται διαδοχικά δείγματα ανά 10 λεπτά ενώ για μικρότερες μηχανές κάθε πέντε λεπτά. Στις παλαιότερες μηχανές τα δείγματα λαμβάνονταν πριν και μετά από τους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες, σε ξεχωριστές φιάλες, καθώς πριν και μετά τα φίλτρα καταθλίψεως.

Στο εργαστήριο πραγματοποιούνται κυρίως οι ακόλουθοι έλεγχοι με τις αντίστοιχες τυποποιημένες μεθόδους:

Έλεγχος	**Μέθοδος**
Πυκνότητα στους 15° C	ISO 3675
Πυκνότητα στους 15° C	ASTM D4052
Νερό, % κ.ο.	ISO 3733
Σημείο αναφλέξεως	ISO 2719
Διαλυτότητα (για MDO)	ASTM D3524
Αδιάλυτο πεντάνιο	ASTM D893
Αδιάλυτο τολουένιο	ASTM D893
Κινηματικό ιξώδες (100°)	ISO 3104
Κινηματικό ιξώδες (40°)	ISO 3104
Αριθμός βάσεως	ASTM D2896
Έλεγχος προσθέτων	ASTM D4628

γ) Έλεγχος αντικαταστάσεως λιπαντελαίων.

Το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών ελέγχων των λιπαντελαίων εξαρτάται από τον τύπο της

μηχανής, την ισχύ της, τη χρήση της κ.λ.π. και προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων και σε σχέση με τα αρχικά στοιχεία, συμπεραίνεται αν το λιπαντικό είναι σε καλή κατάσταση ή χρειάζεται αντικατάσταση.

Για να γίνει αντικατάσταση των λιπαντελαίων θα πρέπει κάποια από τα παρακάτω χαρακτηριστικά να έχουν αλλοιωθεί σημαντικά:

– Πυκνότητα.
– Σημείο αναφλέξεως.
– Ιξώδες.
– Ολικός αριθμός οξύτητας.
– Βαθμός αλκαλικότητας.
– Περιεκτικότητα σε νερό.
– Εξανθρακώματα.
– Περιεκτικότητα σε τέφρα.
– Περιεκτικότητα σε καύσιμο.

Η αντικατάσταση του λιπαντελαίου εξαρτάται επίσης και από άλλους παράγοντες όπως:

– Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η μηχανή.
– Το είδος και η κατάσταση των φίλτρων που χρησιμοποιούνται.
– Η φυγοκέντριση του λαδιού.
– Η ποσότητα του λαδιού στο στροφαλοθάλαμο ή στη δεξαμενή σε συνδυασμό με τη συμπλήρωση λαδιού, λόγω καταναλώσεως.

Πριν την αντικατάσταση, ο μηχανικός πρέπει να ελέγχει επίσης τα εξής:

– Την περιεκτικότητα σε νερό (σχηματισμός δροσιάς) στο εσωτερικό των υαλοδεικτών ή αλλοίωση του χρώματος του λαδιού.
– Τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων λάσπης στο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα, στις δεξαμενές λαδιού ή στα φίλτρα λαδιού. Εάν υπάρχει συσσώρευση τότε σημαίνει ότι υπάρχει οξείδωση.
– Την οσμή του λαδιού (οξείδωση).
– Εάν υπάρχουν μαλακά λασπώδη κατάλοιπα σκοτεινού χρώματος στο σκελετό και στις θυρίδες του στροφαλοθαλάμου, τότε υπάρχει οξείδωση.

Η αντικατάσταση γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, τους διεθνείς κανονισμούς και σύμφωνα με τη γνώμη μηχανικού, ο οποίος εξετάζει όλους τους προαναφερόμενους παράγοντες.

Στο Παράρτημα Α δίδονται πίνακες με τα χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές διαφόρων τύπων λιπαντικών (πίνακες Π.Α.6 έως Π.Α.17).

6.4 Δίκτυο πετρελαίου.

Το ***δίκτυο πετρελαίου*** φροντίζει για τη μεταφορά και κατάλληλη επεξεργασία του πετρελαίου από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως στους εγχυτήρες καυσίμου των κυλίνδρων της μηχανής. Ένα τυπικό δίκτυο πετρελαίου πλοίου πρέπει να είναι ικανό να διαχειρίζεται βαρύ πετρέλαιο ή μείγματα πετρελαίου, καθώς και πετρέλαιο Diesel. Διακρίνεται συνήθως σε ***εσωτερικό*** και ***εξωτερικό*** (εντός και εκτός της μηχανής), ενώ το εξωτερικό διαιρείται σε τρία υποσυστήματα: υποσύστημα ***πληρώσεως*** και ***μεταφοράς, επεξεργασίας*** και τέλος ***τροφοδοτήσεως*** του καυσίμου.

Στο τρίτο κεφάλαιο έγινε μια πρώτη απλή περιγραφή του εξωτερικού δικτύου πετρελαίου, ενώ στη συνέχεια, θα ακολουθήσει μια πιο λεπτομερής ανάλυσή του. Το εσωτερικό δίκτυο θα περιγραφεί σε επόμενο κεφάλαιο.

6.4.1 Υποσύστημα πληρώσεως και μεταφοράς.

Το ***υποσύστημα πληρώσεως*** και ***μεταφοράς*** φροντίζει για την πλήρωση των δεξαμενών καυσίμου από αντλίες εγκατεστημένες στο λιμάνι ή σε φορτηγίδες καυσίμου. Η διάταξη του συστήματος είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπεται η παραλαβή νέου καυσίμου με την ελάχιστη δυνατή ανάμειξη με το ήδη αποθηκευμένο καύσιμο. Επίσης πρέπει να είναι δυνατή η μεταφορά καυσίμου με αντίστροφη πορεία από το πλοίο προς την ξηρά ή προς τις φορτηγίδες καυσίμου.

Κατά την παραλαβή του το βαρύ πετρέλαιο αποθηκεύεται στις δεξαμενές αποθηκεύσεως (bunker tanks) στα διπύθμενα του πλοίου. Αυτές διαθέτουν θυρίδες επιθεωρήσεως και αγωγούς εξαερισμού που φθάνουν έως το κατάστρωμα του πλοίου. Στους αγωγούς πληρώσεως και αναρροφήσεως φέρουν απαραίτητα βάνες, για να είναι δυνατή η πλήρης απομόνωση της δεξαμενής. Το βαρύ πετρέλαιο διατηρείται στις δεξαμενές αποθηκεύσεως σε θερμοκρασία 40^{o} - 50^{o} C ή και μεγαλύτερη, με διάταξη θερμάνσεως (σερπαντίνες ατμού).

Το σύστημα πληρώσεως και μεταφοράς καυσίμου Diesel αποτελεί απλοποιημένη μορφή του συστήματος βαρέος πετρελαίου, με λιγότερες δεξαμενές χωρίς να απαιτείται η θέρμανση όλων των δεξαμενών και η θερμομόνωση όλων των σωλήνων.

Κατά την παραλαβή του το πετρέλαιο Diesel αποθηκεύεται στις αντίστοιχες δεξαμενές αποθηκεύσεως (bunkers), οι οποίες βρίσκονται συνήθως στα διπύθμενα του πλοίου. Στο εσωτερικό τους διατρέχονται από θερμαντικά στοιχεία ατμού (σερπαντίνες ατμού), για να διατηρείται η θερμοκρασία του

καυσίμου μεταξύ 15 και 40° C. Η θέρμανση είναι συχνά επιβεβλημένη για τη μείωση του ιξώδους του πετρελαίου και την εύκολη ροή του στις σωληνώσεις του δικτύου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πλευρικές δεξαμενές αποθηκεύσεως καυσίμου χρησιμοποιούνται και ως δεξαμενές ρυθμίσεως των κλίσεων του πλοίου. Για το λόγο αυτό, συνδέονται μεταξύ τους με αντλίες, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά πετρελαίου από τη μία πλευρά του πλοίου στην άλλη.

6.4.2 Υποσύστημα επεξεργασίας καυσίμου.

Στο ***υποσύστημα επεξεργασίας καυσίμου*** συμπεριλαμβάνονται οι δεξαμενές καθιζήσεως και οι διαχωριστές, που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των στερεών συστατικών και του νερού από το καύσιμο (βλ. σχ. 3.5β).

Με τη βοήθεια αντλιών, το καύσιμο μεταφέρεται από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως στις δεξαμενές κατακαθίσεως ή καθιζήσεως (settling tanks), οι οποίες έχουν επικλινή πυθμένα. Εκεί συγκεντρώνεται το περιεχόμενο στο καύσιμο νερό, το οποίο απομακρύνεται με το δίκτυο εξυδατώσεως προς τη δεξαμενή ακαθάρτων. Οι δεξαμενές κατακαθίσεως πρέπει να έχουν αρκούντως μεγάλη επιφάνεια, έτσι ώστε να γίνεται αποτελεσματικά η καθίζηση του νερού (το οποίο έχει μικρή διαφορά πυκνότητας από το καύσιμο). Εξωτερικά φέρουν συνήθως διάφανο δείκτη στάθμης. Οι δεξαμενές καθιζήσεως είναι συνήθως μονωμένες, φέρουν δείκτη θερμοκρασίας, ενώ θερμαίνονται, έτσι ώστε η θερμοκρασία του ελαφρού πετρελαίου Diesel να βρίσκεται μεταξύ 20 και 40° C, ενώ για το βαρύ πετρέλαιο μεταξύ των 60 και 70° C.

Όταν υπάρχει διαθέσιμος χώρος, εγκαθίστανται δύο δεξαμενές καθιζήσεως βαρέος πετρελαίου, κάθε μία 24ώρου χωρητικότητας, με σκοπό το καύσιμο να παραμένει σε ηρεμία για καθίζηση για αρκετό χρονικό διάστημα. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται το φορτίο των φυγοκεντρικών διαχωριστών. Για την αποφυγή της εισόδου νερού και ιζημάτων στο διαχωριστή, οι δεξαμενές καθιζήσεως πρέπει να έχουν επικλινή πυθμένα και το στόμιο αναρροφήσεως να βρίσκεται από την υψηλότερη πλευρά του πυθμένα, σε απόσταση τουλάχιστον 50 mm από αυτόν.

Ενώ μερικές φορές το καύσιμο Diesel θεωρείται κατάλληλο για καύση χωρίς επιπλέον επεξεργασία, πέρα από την καθίζηση και τη διήθηση, συνίσταται η εφαρμογή φυγοκεντρικού διαχωρισμού. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας το καύσιμο μεταφέρεται στις δεξαμενές καθιζήσεως απ' ευθείας από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως, αλλά φθάνει στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως αφού περάσει από τους διαχωριστές.

Από τη δεξαμενή καθιζήσεως το βαρύ καύσιμο, αφού περάσει από φίλτρα, αντλείται (με αντλίες θετικής μετατοπίσεως) προς τους προθερμαντήρες. Οι προθερμαντήρες πρέπει να έχουν την ικανότητα για να ρυθμίζουν με μεγάλη ακρίβεια τη θερμοκρασία του καυσίμου (με ακρίβεια 2° C), γιατί από τη θερμοκρασία εξαρτάται το ιξώδες του. Το ιξώδες πρέπει να έχει συγκεκριμένες τιμές για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό του καυσίμου από τα στερεά κατάλοιπα. Η συνήθης θερμοκρασία προθερμάνσεως του βαρέος πετρελαίου είναι 98° C. Πριν την είσοδο του καυσίμου στους διαχωριστές συνήθως παρεμβάλλονται μετρητικά όργανα μετρήσεως της πιέσεως και της θερμοκρασίας.

Τα πλοία εφοδιάζονται με τουλάχιστον δύο φυγοκεντρικούς διαχωριστές, κατάλληλους για συνεχή λειτουργία και συνδεδεμένους είτε παράλληλα είτε εν σειρά. Η ονομαστική ικανότητα κάθε διαχωριστήρα πρέπει να ικανοποιεί τουλάχιστον την κατανάλωση των κυρίων μηχανών στην ονομαστική ισχύ λειτουργίας τους. Πρέπει πάντα να υπάρχει ένα περιθώριο της τάξεως του 10%, έτσι ώστε να επιτρέπεται διακοπή για καθαρισμό των διαχωριστήρων και κάθε είδους συντήρηση. Πρέπει να τονισθεί ότι καλό είναι το περιθώριο αυτό να είναι μεγαλύτερο (όχι περισσότερο από 15%), γιατί πολλοί διαχωριστές στη μέγιστη παροχή τους είναι οριακά αποτελεσματικοί, ως προς την ποιότητα του διαχωρισμού που επιτυγχάνουν.

Παλαιότερα, οι διαχωριστές τοποθετούνταν παράλληλα, έτσι ώστε ο δεύτερος να λειτουργεί μόνο σε έκτακτες περιπτώσεις. Η συνήθης πρακτική για κλασικούς διαχωριστές (clarifier - purifier) είναι η εν σειρά σύνδεσή τους, ώστε ο δεύτερος διαχωριστής να βελτιώνει περισσότερο τον καθαρισμό του πετρελαίου (clarifier), αφού αυτό περάσει από τον πρώτο (purifier). Η διάταξη αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια. Με τη χρήση όμως συγχρόνων διαχωριστών αυτόματης ρυθμίσεως της ελεύθερης επιφάνειας νερού-πετρελαίου, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ενός μόνο διαχωριστήρα (με το δεύτερο σε εφεδρεία ή να χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του πετρελαίου Diesel).

Οι περισσότεροι σύγχρονοι διαχωριστές αποβάλλουν αυτόματα το ίζημα (αυτοκαθαρισμός ανά 2 - 4 ώρες), ενώ ο χειρωνακτικός καθαρισμός εκτε-

λείται συμπληρωματικά ανά μήνα, εβδομάδα ή και συχνότερα, ανάλογα με την ποιότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Συχνά, ένας από τους διαχωριστές βαρέος πετρελαίου χρησιμοποιείται ως εφεδρικός ενός μοναδικού διαχωριστή πετρελαίου Diesel. Εναλλακτικά, εάν υπάρχουν εγκατεστημένοι περισσότεροι του ενός διαχωριστές ελαίου λιπάνσεως, είναι δυνατή η χρήση ενός εξ αυτών, ως εφεδρικού για το κύκλωμα πετρελαίου Diesel.

Οι αντλίες τροφοδοσίας των διαχωριστών μπορεί να είναι εξαρτημένες μονάδες θετικής εκτοπίσεως, με ρύθμιση της παροχής (με τη βοήθεια δικτύου ανακυκλοφορίας), ή ανεξάρτητες ηλεκτροκίνητες μονάδες μεταβλητής παροχής. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις, το καύσιμο εξέρχεται από τους διαχωριστές με επαρκή πίεση, έτσι ώστε να φθάσει στις δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως. Όταν αυτό δεν είναι εφικτό, εγκαθίστανται επιπλέον αντλίες καταθλίψεως. Αν οι δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως είναι εφοδιασμένες με γραμμή υπερχειλίσεως προς τις δεξαμενές καθιζήσεως, οι διαχωριστές μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, ανεξάρτητα από την κατανάλωση των κυρίων μηχανών.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το βαρύ πετρέλαιο πρέπει να προθερμαίνεται, πριν διέλθει από τους διαχωριστές σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες (κοντά στο σημείο βρασμού του νερού). Κατ' αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται ο καθαρισμός του. Στη συνέχεια το θερμό καύσιμο εισέρχεται στις δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως, θερμαίνοντας αυτές σε θερμοκρασία πιθανώς μεγαλύτερη της θερμοκρασίας αναφλέξεως του καυσίμου. Για το λόγο αυτό, μερικές εγκαταστάσεις είναι εφοδιασμένες με ψυγείο καυσίμου στη γραμμή καταθλίψεως του διαχωριστή βαρέος πετρελαίου.

6.4.3 Υποσύστημα τροφοδοτήσεως καυσίμου.

Το ***υποσύστημα τροφοδοτήσεως καυσίμου*** παρέχει καύσιμο στις μηχανές στο κατάλληλο ιξώδες (βλ. σχ. 3.5γ).

Μετά τους διαχωριστές το καύσιμο οδηγείται στις δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως (μία για το βαρύ πετρέλαιο και μία για το πετρέλαιο Diesel). Αυτές είναι επίσης θερμαινόμενες και μονωμένες, ενώ φέρουν επίσης επικλινή πυθμένα για τη συγκέντρωση του νερού και την οδήγησή του στη δεξαμενή ακαθάρτων. Φέρουν εξαεριστικά (τα οποία οδηγούνται στο κατάστρωμα), ενώ στις δεξαμενές αυτές μπορεί να καταλήγουν οι επιστροφές καυσίμου από τις μηχανές (μέσω δεξαμενής αναμείξεως-απαερισμού του καυσίμου). Συνδέονται στις αντίστοιχες δεξαμενές καθιζήσεως με αγωγούς για την οδήγηση της επιπλέον ποσότητας καυσίμου που διαχειρίζονται οι διαχωριστές, ενώ διαθέτουν και εξωτερικό διάφανο ενδείκτη στάθμεως.

Οι έξοδοι των δεξαμενών ημερήσιας καταναλώσεως του βαρέος καυσίμου και του πετρελαίου Diesel οδηγούνται σε τρίοδη βάνα, όπου γίνεται η επιλογή του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί. Ακολουθεί συνήθως μετρητής παροχής. Στη συνέχεια, ακολουθεί ζεύγος αντλιών θετικής μετατοπίσεως, τοποθετημένων παράλληλα (feed pumps). Κάθε αντλίας προηγείται μεταλλικό φίλτρο για την προστασία της. Η πίεση μετά τις αντλίες αυξάνεται περίπου στα 6 bar. Ακολουθεί η δεξαμενή (ή στήλη) αναμείξεως-απαερώσεως. Εκτός από το προηγούμενο ζεύγος αντλιών συνήθως παρεμβάλλεται και δεύτερο ζεύγος αντλιών ανακυκλοφορίας (circulating pumps). Οι τελευταίες ανακυκλοφορούν το επιστρεφόμενο από τον κινητήρα καύσιμο, φροντίζοντας για τη διατήρηση της πιέσεως του καυσίμου στον κινητήρα σε σταθερά επίπεδα (περίπου 10 bar). Το καύσιμο που ανακυκλοφορεί, περνά κατά την επιστροφή του από τη δεξαμενή αναμείξεως-απαερώσεως. Μετά τις αντλίες τοποθετείται ο τελικός προθερμαντήρας, ο οποίος φροντίζει να θερμαίνει το καύσιμο σε θερμοκρασία κατάλληλη, έτσι ώστε το ιξώδες του να μην υπερβαίνει το προκαθορισμένο όριο.

Ακολουθεί διπλό φίλτρο (συνήθως φίλτρα αυτοκαθαριζόμενα τοποθετημένα παράλληλα) και στη συνέχεια το ιξωδόμετρο. Αυτό ρυθμίζει τη θερμοκρασία εξόδου από τον τελικό προθερμαντήρα για την ακριβή ρύθμιση του ιξώδους του καυσίμου, αυξομειώνοντας την παροχή ατμού μέσα από τον τελικό προθερμαντήρα. Πριν και μετά τον τελικό προθερμαντήρα παρεμβάλλονται υποχρεωτικά όργανα μετρήσεως της θερμοκρασίας, καθώς και θερμοστάτης για την περίπτωση βλάβης του ιξωδομέτρου (ώστε ποτέ να μην πέσει η θερμοκρασία κάτω από συγκεκριμένο όριο). Στη συνέχεια, το καύσιμο οδηγείται στις αντλίες ψεκασμού, ενώ η περίσσεια επιστρέφει στη δεξαμενή αναμείξεως-απαερισμού. Όλοι οι αγωγοί από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως μέχρι τους κινητήρες είναι μονωμένοι για τη μείωση των απωλειών θερμότητας και τη διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας του καυσίμου.

Για τον περιορισμό της ψύξεως του βαρέος πετρελαίου στο δίκτυο μεταξύ των θερμαντήρων και της μηχανής, και για την εξασφάλιση σταθερής πιέσεως στις αντλίες εγχύσεως, διατηρείται παροχή δύο ή τρεις φορές μεγαλύτερη της καταναλώσεως

των μηχανών στην ονομαστική τους ισχύ, με ανακυκλοφορία της περίσσειας του καυσίμου.

Το καύσιμο που ανακυκλοφορεί, επιστρέφει συνήθως στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως. Η δεξαμενή αναμείξεως-απαερώσεως βοηθάει στην αποφυγή υπερθερμάνσεως στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως. Χρησιμοποιείται για τη σταδιακή μετάβαση από θερμό βαρύ πετρέλαιο σε ψυχρό πετρέλαιο Diesel, καθώς και για την απομάκρυνση των ατμών ελαφρυτέρων κλασμάτων του βαρέος πετρελαίου. Σε μερικές εγκαταστάσεις δεν υπάρχει δεξαμενή αναμείξεως και το ανακυκλούμενο καύσιμο επιστρέφει απ' ευθείας στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως.

Η δεξαμενή αναμείξεως συχνά τροφοδοτείται με τη βαρύτητα από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως. Για το λόγο αυτό, ο πυθμένας της πρέπει να βρίσκεται χαμηλότερα από τον πυθμένα της δεξαμενής ημερήσιας καταναλώσεως, ενώ η κορυφή της πρέπει να βρίσκεται υψηλότερα από την κορυφή της δεξαμενής ημερήσιας καταναλώσεως. Για την επίτευξη ταχείας αλλαγής από το ένα καύσιμο στο άλλο, ο όγκος της δεξαμενής αναμείξεως πρέπει να είναι μικρός και για το λόγο αυτό διαμορφώνεται ως κατακόρυφος σωλήνας.

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, στις οποίες πρέπει να προθερμανθεί το βαρύ καύσιμο και λόγω της αντίστοιχης αυξήσεως των παραγομένων αερίων, πολλές φορές το θερμό κύκλωμα μεταφοράς του καυσίμου κατασκευάζεται ως κλειστός βρόγχος υπό πίεση. Κατ' αυτόν το τρόπο περιορίζεται η απελευθέρωση των πτητικών κλασμάτων του πετρελαίου. Αυτός είναι ο λόγος της τοποθετήσεως ενός επιπλέον ζεύγους αντλιών καυσίμου χαμηλής πιέσεως για την τροφοδότηση της δεξαμενής αναμείξεως από τη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως. Η τοποθέτηση των αντλιών αυτών αυξάνει τις επιλογές ως προς τη θέση και τη διαστασιολόγηση της δεξαμενής αναμείξεως. Τα παραγόμενα αέρια απομακρύνονται μέσω ανακουφιστικής βαλβίδας.

Οι τροφοδοτικές αντλίες χαμηλής πιέσεως τοποθετούνται συνήθως σε ζεύγη και είναι συνήθως περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως. Λειτουργούν για παροχή μερικώς προθερμασμένου καυσίμου, πρέπει όμως να έχουν και τη δυνατότητα να παρέχουν και πετρέλαιο Diesel (κατά την αλλαγή του καυσίμου) και ψυχρού βαρέος πετρελαίου (κατά το μεταβατικό στάδιο της εκκινήσεως, μέχρι το δίκτυο να φθάσει σε κανονικό σημείο λειτουργίας).

Εγκαθίστανται στο δίκτυο συνήθως δύο τελικοί προθερμαντήρες καυσίμου, ο καθένας από τους οποίους πρέπει να είναι ικανός να θερμάνει το βαρύτερο καύσιμο που είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί. Θα πρέπει να υπάρχουν περιθώρια λειτουργίας με ικανοποιητική απόδοση ακόμη και σε κατάσταση συσσωρεύσεως ρύπων. Οι προθερμαντήρες λειτουργούν με ατμό, του οποίου η παροχή ελέγχεται με ιξωδόμετρο, τοποθετημένο κοντά στις αντλίες εγχύσεως.

Η μέτρηση του ιξώδους στηρίζεται συνήθως στην ακόλουθη αρχή: από το δίκτυο καυσίμου λαμβάνεται με μικρή ηλεκτροκίνητη αντλία μια μικρή ποσότητα καυσίμου. Η ποσότητα αυτή καταθλίβεται σε τριχοειδή σωλήνα υπό συνθήκες σταθερής και στρωτής ροής (όχι τυρβώδους). Η πτώση της πιέσεως κατά μήκος αυτού του σωλήνα είναι ανάλογη προς το ιξώδες του καυσίμου.

Εάν οι βοηθητικές μηχανές του πλοίου πρόκειται να λειτουργούν και με βαρύ πετρέλαιο, το δίκτυο παροχής καυσίμου κατασκευάζεται εις διπλούν, υπό κλίμακα, και ενσωματώνει μονάδα αναμείξεως. Στην περίπτωση που οι βοηθητικές μηχανές πρέπει να λειτουργούν και όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος ατμός, εγκαθίσταται ηλεκτρικός θερμαντήρας καυσίμου σε παράλληλη διάταξη με τους θερμαντήρες ατμού.

Αμέσως μετά τον τελικό προθερμαντήρα τοποθετείται το τελικό φίλτρο καυσίμου, για να διευκολύνεται η διήθηση του καυσίμου, λόγω του μειωμένου ιξώδους του θερμού καυσίμου. Το φίλτρο αυτό κυρίως αποτελεί εφεδρεία των διαχωριστών καυσίμου. Μπορεί να είναι αυτοκαθαριζόμενη μονάδα λεπτού πλέγματος ή να αποτελείται από ανταλλακτικό στοιχείο ακόμη λεπτότερου πλέγματος ή συνδυασμό των παραπάνω.

Το σύνολο του δικτύου σωληνώσεων ενός συστήματος παροχής βαρέος πετρελαίου, συμπεριλαμβανομένων μερικές φορές των αντλιών και των φίλτρων, είναι πιθανό να θερμαίνεται με ατμό ή ηλεκτρική αντίσταση και να είναι θερμομονωμένο.

6.5 Δίκτυο λιπάνσεως.

Το ***δίκτυο λιπάνσεως*** εξασφαλίζει τη λίπανση και τον περιορισμό των φθορών λόγω υπερθερμάνσεως των διαφόρων εξαρτημάτων της μηχανής (έμβολα, κομβία, τριβείς κ.λ.π.). Εξασφαλίζει επίσης τον καθαρισμό αυτών από εξανθρακώματα και αποκολλώμενα ρινίσματα μετάλλων.

Παλαιότερα, η λίπανση των μηχανών γινόταν με την εμβάπτιση κάποιων κινουμένων μερών και την εκτόξευση του λαδιού στις πιο απομακρυσμένες από την ελαιολεκάνη τριβόμενες επιφάνειες. Σήμερα εφαρμόζεται η αναγκαστική κυκλοφορία του λαδιού λιπάνσεως με τη χρήση αντλιών.

Λόγω του πλήθους των ποιοτήτων λαδιού που απαιτείται για τη λειτουργία των ναυτικών μηχανών, τα συστήματα λιπάνσεως είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα. Ένα σύστημα λιπάνσεως αργόστροφης πετρελαιομηχανής μπορεί να περιλαμβάνει τρεις ποιότητες λαδιού για την κύρια μηχανή (μια για το λάδι κυκλοφορίας, μια για το κυλινδρέλαιο και μια για τους στροβιλοϋπερπληρωτές), καθώς και μια άλλη ποιότητα για τις βοηθητικές μηχανές. Μια εγκατάσταση μεσόστροφης πετρελαιομηχανής με μειωτήρα στροφών μπορεί να απαιτεί διαφορετική ποιότητα λαδιού για τις κύριες και τις βοηθητικές μηχανές, διαφορετική ποιότητα για το μειωτήρα στροφών, και πιθανώς διαφορετική ποιότητα λαδιού για τους στροβιλοϋπερπληρωτές (τουρμπινέλαιο) ή άλλες χρήσεις.

Η συνολική εγκατάσταση λιπάνσεως κύριας και βοηθητικών μηχανών και μηχανημάτων αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα:

- Αποθηκεύσεως, μεταφοράς και καθαρισμού των διαφορετικών ποιοτήτων λαδιού.
- Λιπάνσεως κυρίων μηχανών με λάδι κυκλοφορίας.
- Λιπάνσεως κυρίων μηχανών με κυλινδρέλαιο.
- Λιπάνσεως στροβιλοϋπερπληρωτών.
- Λιπάνσεως βοηθητικών μηχανών.

6.5.1 Συστήματα αποθηκεύσεως, μεταφοράς και καθαρισμού λαδιού λιπάνσεως.

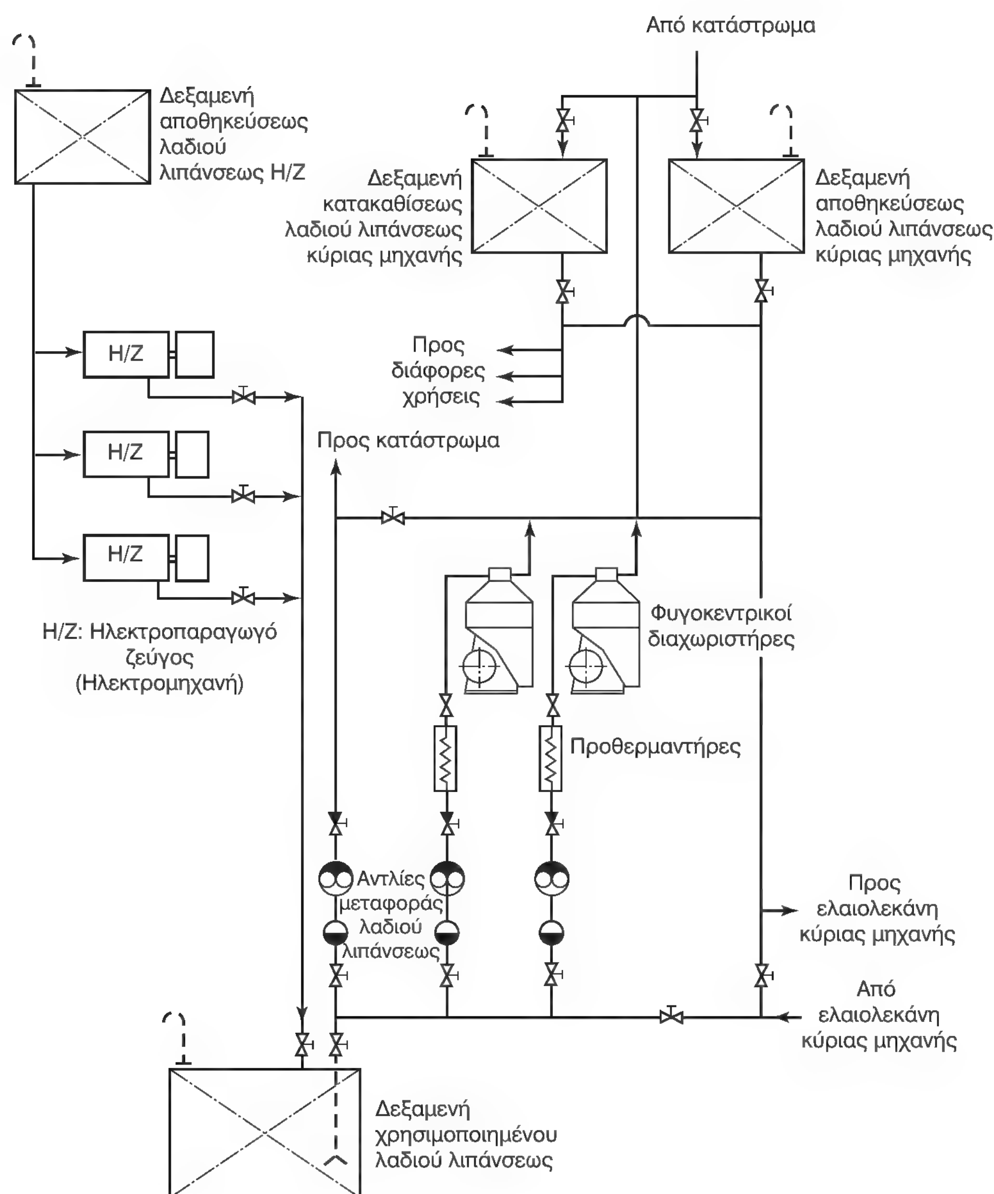
Κάθε διαφορετική ποιότητα χρησιμοποιούμενου λαδιού διαθέτει ανεξάρτητο κύκλωμα αποθηκεύσεως, μεταφοράς και καθαρισμού του λαδιού. Το λάδι, από το σύνδεσμο πληρώσεως του καταστρώματος, οδηγείται με βαρύτητα στην αντίστοιχη δεξαμενή αποθηκεύσεως. Η δεξαμενή αποθηκεύσεως διαθέτει και αγωγό εξαερώσεως, που καταλήγει στο κατάστρωμα. Από τη δεξαμενή αποθηκεύσεως το λάδι οδηγείται στην ανάλογη χρήση (π.χ. το λάδι κύριας μηχανής οδηγείται στην ελαιολεκάνη). Η κύρια δεξαμενή αποθηκεύσεως του λαδιού λιπάνσεως, έχει χωρητικότητα τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη ποσότητα λαδιού για μια πλήρωση του κάθε κινητήρα επιπλέον των ποσοτήτων του λαδιού που απαιτούνται για τις υπόλοιπες χρήσεις.

Παράλληλα συνδεδεμένη με τη δεξαμενή αποθηκεύσεως υπάρχει δεξαμενή καθιζήσεως, η οποία είναι συνήθως κενή. Αν ρυπανθεί σε μεγάλη έκταση το λάδι κυκλοφορίας, για παράδειγμα από νερό, τότε μπορεί να μεταφερθεί στη δεξαμενή καθιζήσεως μέσω της αντλίας μεταφοράς και να αντικατασταθεί με νέο λάδι από τη δεξαμενή αποθηκεύσεως.

Συνήθως, το σύνολο του λαδιού της κύριας μηχανής δύο φορές το χρόνο μεταγγίζεται από την κύρια δεξαμενή στη δεξαμενή καθιζήσεως, όπου θερμαίνεται για 24 ώρες σε θερμοκρασία 60^{o}C. Όταν κατακαθίσουν το νερό και η λάσπη, αφαιρούνται με κρουνούς ή αντλίες, ενώ το λάδι φυγοκεντρίζεται και ξαναστέλνεται στην κύρια δεξαμενή αποθηκεύσεως. Το λάδι θερμαίνεται στους 80^{o} - 90^{o} C στη δεξαμενή καθιζήσεως, όταν παρουσιαστεί μικροβιολογική μόλυνση από διαρροή νερού (Ph <7). Αυτό γίνεται, γιατί στους 40^{o}C το μολυσμένο λάδι δημιουργεί γαλάκτωμα που προκαλεί φθορές (ευλογιάσεις) στα κομβία και στους τριβείς ακριβείας, με αποτέλεσμα οι τριβείς να καταστρέφονται.

Εάν το μολυσμένο λάδι δεν μπορεί να καθαριστεί με συνδυασμό καθιζήσεως και φυγοκεντρισμού, τότε μπορεί να μεταφερθεί στο λιμάνι ή σε φορτηγίδα για αναζωογόνηση. Όπως και η δεξαμενή αποθηκεύσεως, η δεξαμενή καθιζήσεως διαθέτει αγωγό εξαερώσεως και αγωγό εκκενώσεως.

Το λάδι μετά τη χρήση του οδηγείται στο συγκρότημα καθαρισμού. Σε μικρότερους ταχύστροφους κινητήρες αρκεί η διήθηση και οι περιοδικές αλλαγές, ώστε να διατηρείται η σωστή ποιότητα του λαδιού κυκλοφορίας. Αντίθετα, για τους περισσότερους κινητήρες μεγαλύτερου μεγέθους, προβλέπεται συνεχής καθαρισμός του λαδιού με τη χρήση φυγοκεντρικών διαχωριστήρων εγκατεστημένων σε παρακαμπτήριο κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5α. Οι διαχωριστήρες είναι τέτοιου μεγέθους, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα καθαρισμού του ολικού περιεχομένου της δεξαμενής αποστραγγίσεως τρεις έως πέντε φορές την ημέρα. Από τους συνήθως δύο παράλληλα τοποθετημένους διαχωριστήρες, ο ένας χρησιμοποιείται ως εφεδρικός. Είναι δυνατόν όμως ως εφεδρική μονάδα καθαρισμού του λαδιού να χρησιμοποιείται ο εφεδρικός διαχωριστήρας του καυσίμου, που συνδέεται στο δίκτυο λαδιού με τυφλή φλάντζα. Συνήθως ο διαχωριστήρας αναρροφά μέσω κωδωνοειδούς στομίου από το φρεάτιο αναρροφήσεως της δεξαμενής αποστραγγίσεως ή την ελαιολεκάνη, επιστρέφοντας το λάδι στο πρόσθιο άκρο της ίδιας δεξαμενής, έτσι ώστε να αποφεύγεται βραχυκύκλωση του λαδιού. Η αναρρόφηση του διαχωριστήρα βρίσκεται συνήθως πρύμα από την αναρρόφηση της αντλίας κυκλοφορίας του λαδιού και χαμηλότερα, περίπου 50 mm πάνω από τον πυθμένα της δεξαμενής, έτσι ώστε να αναρροφά το νερό πριν αυτό φθάσει στην αντλία κυκλοφορίας. Η γραμμή αναρροφήσεως του διαχωριστήρα πρέπει να είναι σχετικά μικρής διαμέτρου, για να αναπτύσσε-



Σχ. 6.5α.
Τυπικό σύστημα αποθηκεύσεως, καθαρισμού και μεταφοράς λαδιού λιπάνσεως κύριας μηχανής και ηλεκτρομηχανών.

ται αρκετά μεγάλη ταχύτητα ροής, ικανή να παρασύρει νερό και ιζήματα προς τον καθαριστή, αποφεύγοντας τις καθιζήσεις. Της εισόδου του λαδιού σε κάθε διαχωριστήρα προηγείται η προθέρμανση.

Οι σύγχρονοι διαχωριστήρες είναι συνήθως αυτοκαθαριζόμενοι και πλήρως αυτόματοι. Γενικά, οι αντλίες των διαχωριστήρων είναι εξαρτημένης θετικής εκτοπίσεως (εφοδιασμένες με φίλτρο αναρροφήσεως). Οι διαχωριστήρες λαδιού είναι τοποθετημένοι στο δάπεδο, έτσι ώστε να μειώνεται το απαιτούμενο ύψος αναρροφήσεως από τη δεξαμενή αποστραγγίσεως της κύριας μηχανής. Εναλλακτική διάταξη αποτελεί η τοποθέτηση ηλεκτροκίνητης αντλίας στο δάπεδο, ώστε να υπάρχει περισσότερη ευελιξία στο χώρο τοποθετήσεως του διαχωριστήρα. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις το λάδι εξέρχεται του διαχωριστήρα με αρκετή πίεση, έτσι ώστε να φθάσει στη δεξαμενή καθιζήσεως όταν απαιτηθεί. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, τότε εγκαθίσταται αντλία καταθλίψεως.

Σε ειδικές περιπτώσεις, στο κύκλωμα των φυγοκεντρικών διαχωριστήρων της κύριας μηχανής, είναι δυνατή και η σύνδεση του κυκλώματος λιπάνσεως των βοηθητικών μηχανών, για να επιτρέπεται ο περιοδικός καθαρισμός του λαδιού τους. Αυτό αποτελεί σπάνια κατασκευαστική επιλογή, καθώς

οι ποσότητες του συγκεκριμένου λαδιού είναι σχετικά μικρές, ενώ υπάρχει κίνδυνος ρυπάνσεως του λαδιού κυκλοφορίας της κύριας μηχανής. Το απορρυπαντικό λάδι με αλκαλικά πρόσθετα των βοηθητικών μηχανών θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να αντικαθίσταται κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Όταν όμως υπάρχουν βοηθητικές μηχανές μεγάλου μεγέθους, δικαιολογείται η ύπαρξη ενός ξεχωριστού φυγοκεντρικού διαχωριστήρα. Η σωλήνωση που φαίνεται στο σχήμα 6.5α για την πλήρωση και αποστράγγιση των ελαιολεκανών των βοηθητικών μηχανών, μπορεί να μην υπάρχει σε εγκαταστάσεις μικρότερου μεγέθους.

Ανάλογο πρόβλημα παρουσιάζεται και σε εγκαταστάσεις μεσοστρόφων κινητήρων, όπου ο μειωτήρας στροφών περιέχει ορυκτέλαιο, το οποίο υπόκειται σε ρύπανση με νερό από υγροποίηση στο κιβώτιο του μειωτήρα. Αν δεν συνέβαινε αυτό, το λάδι του μειωτήρα θα διαρκούσε επ' άπειρον. Στην περίπτωση αυτή, επίσης λόγω του κινδύνου ρυπάνσεως του λαδιού του μειωτήρα από το αλκαλικό λάδι της κύριας μηχανής, έστω κι αν υπάρχουν συνδέσεις των διαχωριστήρων, είναι μάλλον απίθανο να χρησιμοποιηθούν. Μερικοί χειριστές προσαρμόζουν υδροαπορροφητικά (και μαγνητικά) φίλτρα στο κύκλωμα λιπάνσεως του μειωτήρα, ενώ άλλοι καθαρίζουν όλη την ποσότητα του λαδιού από καιρό σε καιρό με φορητό διαχωριστήρα ή φίλτρο.

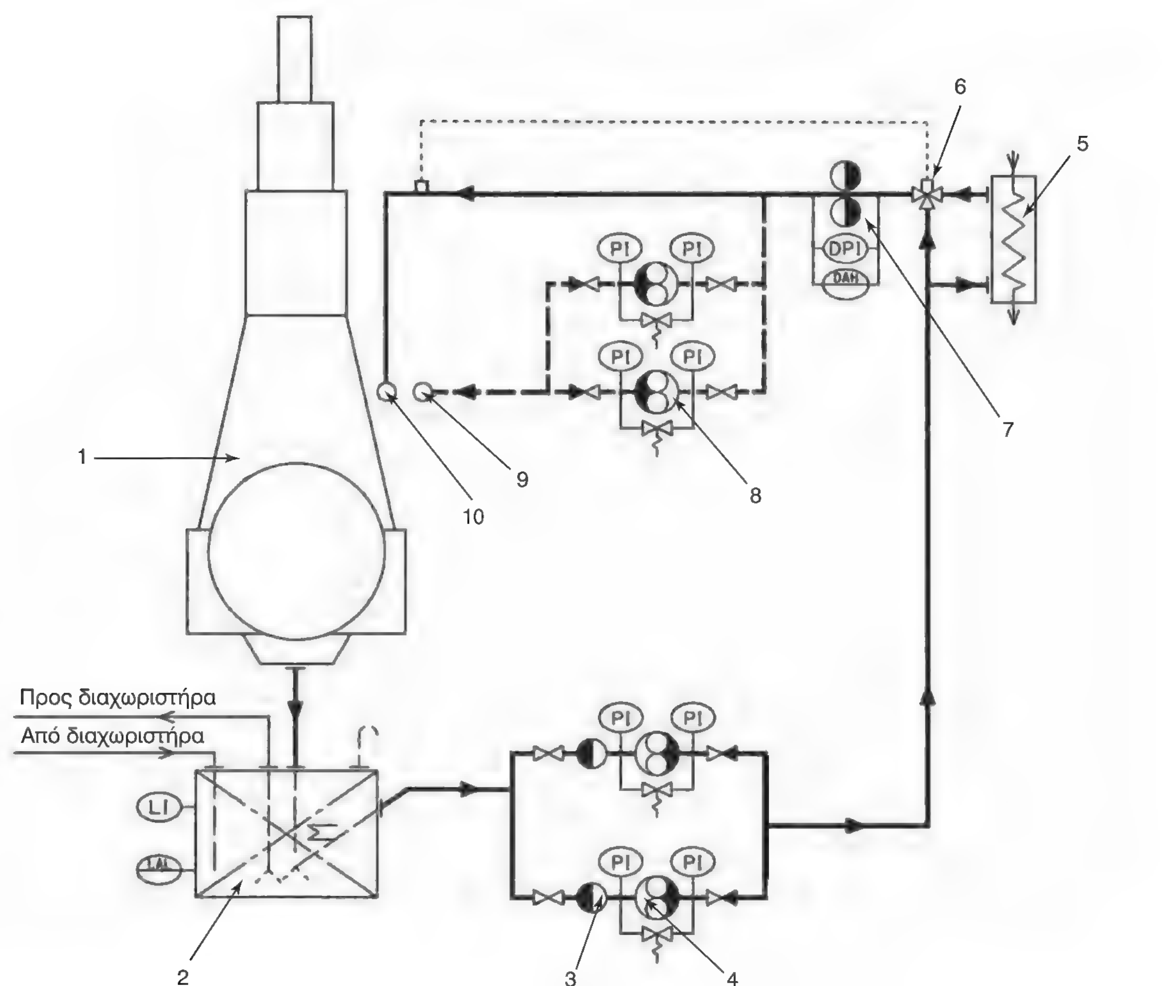
6.5.2 Σύστημα λιπάνσεως κύριας μηχανής.

Ένα τυπικό σύστημα λαδιού κυκλοφορίας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.5β. Το λάδι που αποστραγγίζεται από τα έδρανα και τις διόδους ψύξεως στον πυθμένα του στροφαλοθαλάμου περνά σε ανεξάρτητη δεξαμενή αποστραγγίσεως, κατασκευασμένη στα διπύθμενα κάτω από την κύρια μηχανή. Από εκεί μέσω των αντλιών κυκλοφορίας λαδιού οδηγείται στο ψυγείο και τα φίλτρα λαδιού. Η αναρρόφηση του λαδιού από τη δεξαμενή αποστραγγίσεως γίνεται με τη χρήση κωδωνοειδών στομίων αναρροφήσεως. Τα στόμια απέχουν από τον πυθμένα τουλάχιστον 100 mm, έτσι ώστε να αποφεύγεται η αναρρόφηση νερού ή ιζημάτων. Σε μικρότερους κινητήρες, το πρόσθετο κόστος και η πολυπλοκότητα της δεξαμενής αποστραγγίσεως αποφεύγονται με τη χρησιμοποίηση ελαιολεκάνης, που αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της μηχανής και σχηματίζει τον πυθμένα του στροφαλοθαλάμου. Η δεξαμενή αποστραγγίσεως ή η ελαιολεκάνη πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένες, έτσι ώστε η αναρρόφηση να είναι δυνατή ακόμη και σε ακραίες συνθήκες εγκάρσιας κλίσεως ή αναταράξεως του λαδιού. Αυτό επιτυγχάνεται με το σχηματισμό κατάλληλου κοιλώματος γύρω από το στόμιο αναρροφήσεως.

Οι αντλίες κυκλοφορίας του λαδιού λιπάνσεως είναι συνήθως περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως, και σε μεγάλες εγκαταστάσεις, συνήθως τοποθετούνται διπλές ή τριπλές για λόγους ασφαλείας. Σε εγκαταστάσεις αργοστρόφων μηχανών οι αντλίες κινούνται από ηλεκτροκινητήρες, ενώ σε ταχύστροφες μηχανές συνήθως τοποθετείται μια αντλία εξαρτημένη από την κύρια μηχανή, ενώ το ρόλο της εφεδρικής αναλαμβάνει μια αντλία κινούμενη από ηλεκτροκινητήρα. Σε πολύ μεγάλες μηχανές, είναι δυνατόν να υπάρχουν τρεις αντλίες, από τις οποίες οι δύο λειτουργούν και η μία βρίσκεται σε ετοιμότητα (εφεδρική). Κατ' αυτόν τον τρόπο ***μπορεί να ικανοποιηθεί το μεγάλο φορτίο που απαιτείται κατά την εκκίνηση***. Κάθε αντλία έχει ιδιαίτερο φίλτρο αναρροφήσεως για δική της προστασία. Συνιστάται η κατασκευή χωριστής γραμμής αναρροφήσεως για κάθε αντλία. Ως εναλλακτική επιλογή, αντί των περιστροφικών αντλιών θετικής εκτοπίσεως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φυγοκεντρικές αντλίες βαθέων φρεάτων, εμβαπτισμένες στη δεξαμενή αποστραγγίσεως.

Εκτός από τα φίλτρα αναρροφήσεως, μετά τις αντλίες ακολουθούν τα κύρια φίλτρα λαδιού τα οποία είναι συνήθως διπλά. Καλύτερη διήθηση εξασφαλίζει η χρήση φίλτρου με απορριπτόμενο στοιχείο (σε μικρότερες μηχανές) ή δύο αυτοκαθαριζομένων φίλτρων παράλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους, με πιθανότητα υπάρξεως και τρίτου σε παράκαμψη ως εφεδρεία. Το φιλτραρισμένο λάδι διανέμεται στους τριβείς του κινητήρα, στα συστήματα ρυθμίσεων και ελέγχου, στους μηχανισμούς των βαλβίδων και σε κινητήρες χωρίς ζύγωμα ή και σε μερικούς κινητήρες με ζύγωμα, για την ψύξη των εμβόλων. Μερικές από τις χρήσεις αυτές μπορεί να απαιτούν λάδι υψηλότερης πιέσεως, που μπορεί να προέλθει από υποβοηθητικές αντλίες ή από ένα δεύτερο κύκλωμα υψηλότερης πιέσεως (λίπανση ζυγώματος).

Συνήθως το λάδι λιπάνσεως των εδράνων του υπερπληρωτή προέρχεται από το λάδι κυκλοφορίας του κινητήρα, αλλά μερικοί υπερπληρωτές έχουν δικό τους κλειστό κύκλωμα λιπάνσεως, που επιτρέπει τη χρήση διαφορετικού λαδιού. Σε κάθε περίπτωση όμως, ο υπερπληρωτής υποστηρίζεται και από εφεδρικό σύστημα τροφοδοσίας λαδιού, καθώς θα συνεχίζει να κινείται με υψηλή ταχύτητα περιστροφής για αρκετή ώρα, ακόμη και αν παρουσιαστεί βλάβη στο κύριο σύστημα λαδιού της μηχα-



1. Κύρια μηχανή (Main engine).
2. Δεξαμενή χρησιμοποιημένου λαδιού (Lubricating oil drain tank).
3. Φίλτρο αναρροφήσεως (Suction oil filter).
4. Αντλία λαδιού (Lubricating oil pump).
5. Ψυγείο λαδιού (Lubricating oil cooler).
6. Αυτόματη βαλβίδα ρυθμίσεως θερμοκρασίας του λαδιού (Automatic temperature control valve).
7. Φίλτρο λαδιού (Lubricating oil filter).
8. Αντλία λαδιού ζυγώματος (Crosshead lubricating oil pump).
9. Είσοδος λαδιού ζυγώματος (Crosshead lubricating oil inlet).
10. Είσοδος λαδιού λιπάνσεως (Lubricating oil inlet).

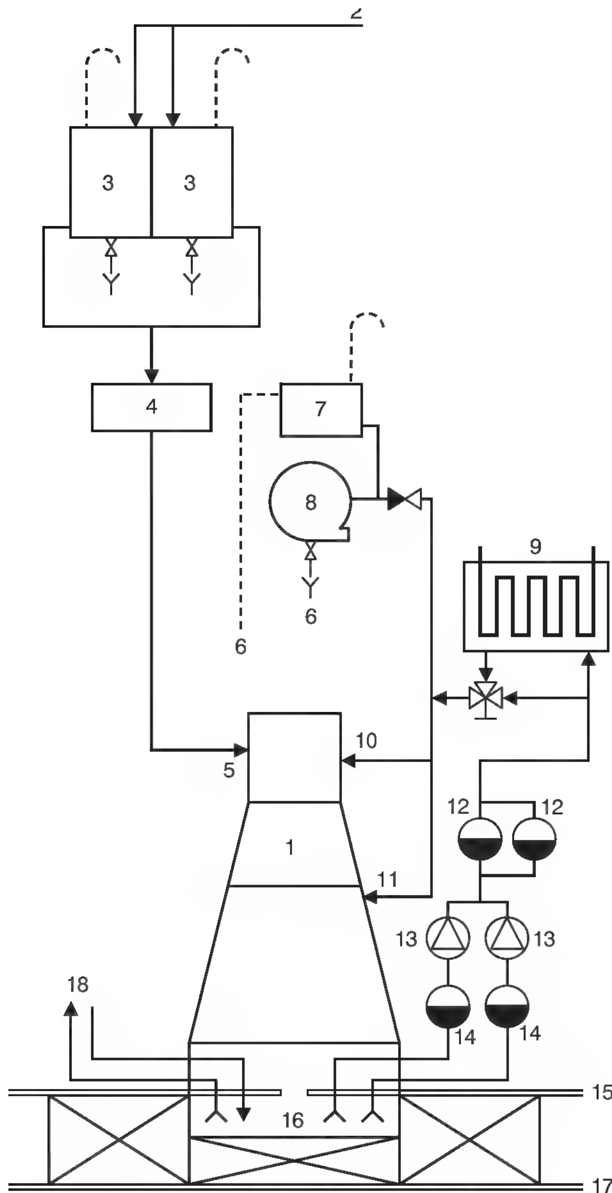
DAH: Συναγερμός υψηλής διαφορικής πιέσεως (Differential Pressure Allarm High).
DPI: Μετρητής διαφορικής πιέσεως (Differential Pressure Indicator).
PI: Μετρητής πιέσεως (Pressure Indicator).
LI: Ενδείκτης στάθμεως (Level Indicator).
LAL: Συναγερμός χαμηλής στάθμεως (Level Allarm Low).

Αγωγοί εξαερισμού (Air vent pipes).
Αγωγοί λιπάνσεως εδράνων και ψύξεως εμβόλων (Bearing lub. and piston cooling oil pipes).
Αγωγοί λιπάνσεως ζυγώματος (Crosshead lub. oil).
Αγωγοί πάνω στη μηχανή /συνδέσεις αγωγών (Pipes on engine/pipe connections).

Σχ. 6.5β.
Τυπικό σύστημα λιπάνσεως (λαδιού κυκλοφορίας) κύριας μηχανής.

νής, οπότε η κύρια μηχανή κάνει «κράτει» αυτομάτως. Το σύστημα του σχήματος 6.5γ περιλαμβάνει δεξαμενή βαρύτητας για το σκοπό αυτό.

Σε κινητήρες με ζύγωμα, ο στροφαλοθάλαμος και το λάδι κυκλοφορίας απομονώνονται από το χώρο του κιβωτίου σαρώσεως, με τη βοήθεια του στυπειοθλίπτη του βάκτρου. Κατ' αυτόν τον τρόπο αποτρέπεται η ρύπανση του λαδιού κυκλοφορίας από τα προϊόντα της καύσεως, που ξεφεύγουν από τα ελατήρια. Η ρύπανση αυτή είναι αναπόφευκτη σε κινητήρες χωρίς ζύγωμα. Για το λόγο αυτό, σε κινητήρες με ζύγωμα χρησιμοποιείται ***ακατέργαστο ορυκτέλαιο*** (***SMO***) με πρόσθετα για να αποφεύγεται η διάβρωση ή οξείδωση ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμε-



1. Κύρια μηχανή.
2. Από το σύνδεσμο πληρώσεως καταστρώματος.
3. Δεξαμενή κατακαθίσεως κυλινδρελαίου.
4. Μετρητική δεξαμενή.
5. Προς εγχυτήρες κυλινδρελαίου.
6. Αποστράγγιση στην ελαιολεκάνη.
7. Δεξαμενή βαρύτητας.
8. Στροβιλοϋπερπληρωτής.
9. Ψυγείο λαδιού λιπάνσεως.
10. Προς ρυθμιστή στροφών και δίκτυα ελέγχου.
11. Προς έδρανα.
12. Φίλτρα καταθλίψεως.
13. Αντλίες κυκλοφορίας λαδιού λιπάνσεως.
14. Φίλτρα αναρροφήσεως.
15 Οροφή διπυθμένων.
16. Ελαιολεκάνη.
17. Επίπεδο τρόπιδας.
18. Από/προς διαχωριστήρα λαδιού λιπάνσεως.

Σχ. 6.5γ.
Τυπικό σύστημα λιπάνσεως κύριας μηχανής και υπερπληρωτή.

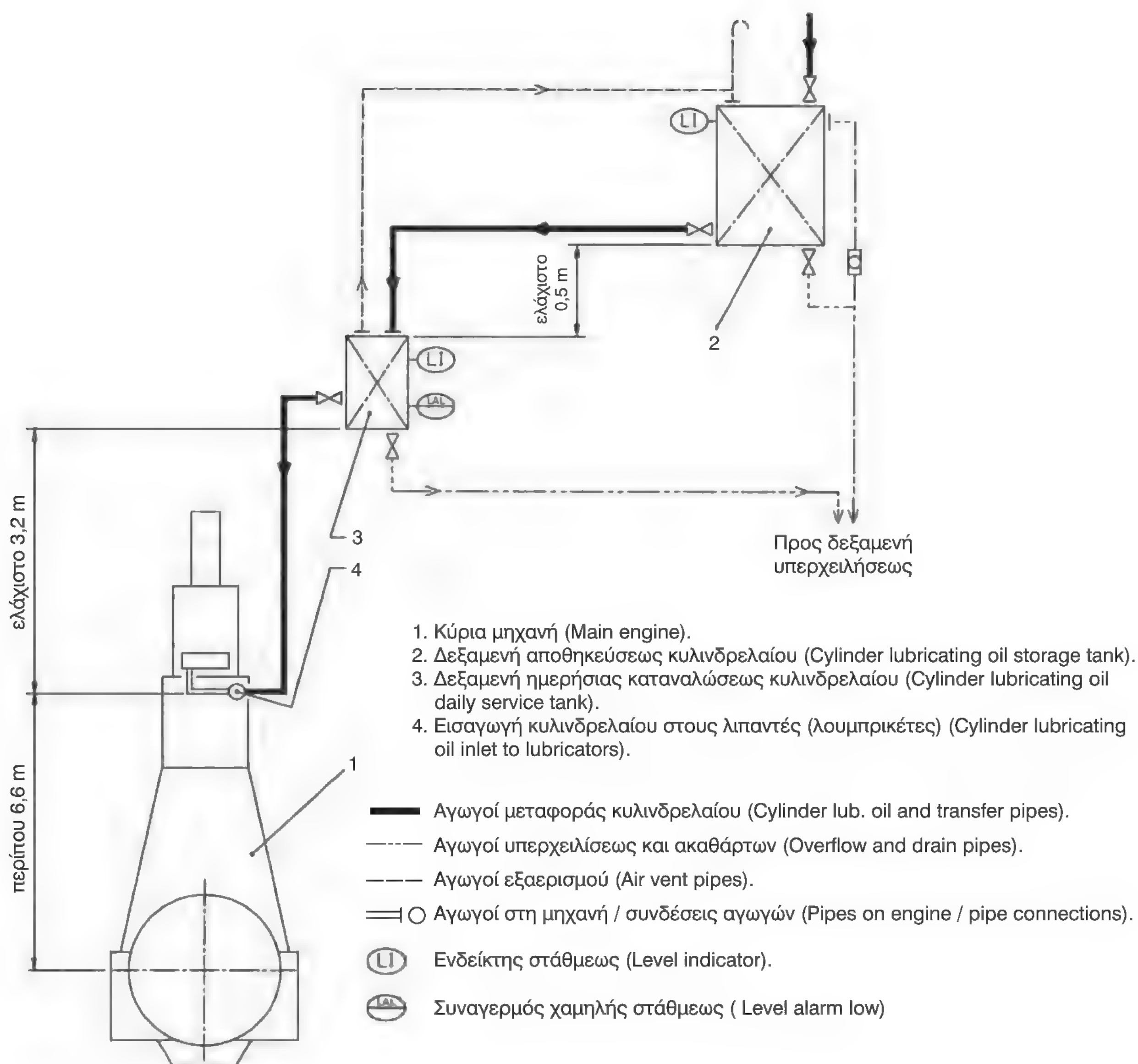
νο καύσιμο. Σε κινητήρες χωρίς ζύγωμα συνήθως χρησιμοποιείται απορρυπαντικό λάδι με αλκαλικά πρόσθετα, τα οποία ρυθμίζονται σύμφωνα με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο.

Ενώ το λάδι κυκλοφορίας σε κινητήρα με ζύγωμα σπάνια απαιτεί αλλαγή υπό ομαλές συνθήκες λειτουργίας, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τους κινητήρες χωρίς ζύγωμα. Σ' αυτούς πρέπει να γίνεται περιοδική αντικατάσταση όλης της ποσότητας του λαδιού κυκλοφορίας, λόγω ακριβώς της επαφής του με προϊόντα της καύσεως και λόγω της σταδιακής γηράνσεώς του. Σε κινητήρες χωρίς ζύγωμα, η διάρκεια ζωής του λαδιού κυκλοφορίας παρατείνεται, καθώς φρέσκο λάδι προστίθεται, για να αναπληρώσει εκείνο που καίγεται κατά τη λίπανση των κυλίνδρων. Περαιτέρω παράταση της ζωής του λαδιού εξασφαλίζεται, εάν ληφθούν πρόσθετα μέτρα, όπως η εγκατάσταση προσθέτων πολύ λεπτών φίλτρων (συνήθως με απορριπτόμενα στοιχεία) και αν είναι απαραίτητη, η περιοδική συμπλήρωση χημικών προσθέτων στο λάδι.

6.5.3 Σύστημα κυλινδρελαίου κύριας μηχανής.

Οι κινητήρες με ζύγωμα, καθώς και μερικοί κινητήρες χωρίς ζύγωμα είναι εφοδιασμένοι με ανεξάρτητο ***σύστημα κυλινδρελαίου*** για τη λίπανση των ελατηρίων των εμβόλων. Ένα τυπικό σύστημα κυλινδρελαίου παρουσιάζεται στο σχήμα 6.5δ. Το κυλινδρέλαιο αποθηκεύεται σε μία, ή κατά προτίμηση, σε δύο δεξαμενές και μεταφέρεται καθημερινά σε μετρητική δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως μικρής χωρητικότητας. Από τη δεξαμενή τροφοδοτούνται με βαρύτητα οι λιπαντήρες (lubricators - λουμπρικέτες) των κυλίνδρων του κινητήρα. Οι λιπαντήρες είναι εγχυτήρες, οι οποίοι κινούνται από τον κινητήρα, ρυθμισμένοι με ακρίβεια, έτσι ώστε να εγχύουν καθορισμένη ποσότητα λαδιού στους κυλίνδρους, τη στιγμή που τα ελατήρια των εμβόλων ανερχόμενα περνούν από τα σημεία εγχύσεως. Το λάδι αυτό τελικά καίγεται μαζί με το καύσιμο. Επειδή οι ποσότητες του κυλινδρελαίου που εγχύονται σε κάθε διαδρομή είναι μικρές, η μετρητική δεξαμενή επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της καταναλώσεως του κυλινδρελαίου, μέσω της μετρήσεως της μεταβολής της στάθμης της σε δεδομένο χρονικό διάστημα.

Το κυλινδρέλαιο είναι ορυκτέλαιο υψηλού ιξώδους, με TBN κατάλληλο για το καύσιμο με την προβλεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο. Η εγκατάσταση δύο δεξαμενών κυλινδρελαίου προσφέρει ευελιξία, καθώς επιτρέπει τη μεταφορά κυλινδρελαίων δια-



Σχ. 6.5δ.
Τυπικό σύστημα κυλινδρελαίου.

φορετικού TBN (σχ. 6.5γ). Οι δεξαμενές αποθηκεύσεως του κυλινδρελαίου συνήθως πληρώνονται από το κατάστρωμα με τη βαρύτητα.

Στους περισσότερους κινητήρες χωρίς ζύγωμα, η λίπανση των κυλίνδρων γίνεται από το λάδι κυκλοφορίας, το οποίο φθάνει στα ελατήρια και στα τοιχώματα των χιτωνίων των κυλίνδρων μέσω ελεγχόμενης διαρροής του τριβέα στον πείρο του εμβόλου. Σε μερικούς κινητήρες χωρίς ζύγωμα, το λάδι εγχύεται για λίπανση των κυλίνδρων με όμοιο τρόπο, όπως στις αργόστροφες μηχανές. Στις περισσότερες περιπτώσεις το λάδι προέρχεται από το δίκτυο κυκλοφορίας, αν και μερικές μηχανές έχουν χωριστό δίκτυο παροχής κυλινδρελαίου.

6.5.4 Σύστημα λιπάνσεως στροβιλοϋπερπληρωτών.

Το ***σύστημα λιπάνσεως των στροβιλοϋπερπληρωτών*** στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελεί τμήμα του δικτύου λιπάνσεως της κύριας μηχανής. Το λάδι, μετά το ψυγείο, οδηγείται, με παρεμβολή βαλβίδας αντεπιστροφής, στα έδρανα του στροβιλοϋπερπληρωτή. Για λόγους ασφαλείας, υπάρχει απαραιτήτως και μία μικρή εφεδρική δεξαμενή βαρύτητας, η οποία τροφοδοτείται συνεχώς με λάδι. Το λάδι της δεξαμενής βαρύτητας θα χρησιμοποιηθεί μόνο στην περίπτωση, που η μηχανή κάνει «κράτει», ενώ ο υπερπληρωτής συνεχίζει να περιστρέφεται λόγω αδράνειας (σχ. 6.5γ).

Σε παλαιότερους στροβιλοϋπερπληρωτές υπήρχε ξεχωριστό δίκτυο λιπάνσεως των εδράνων τους με ειδική ποιότητα λαδιού (τουρμπινέλαιο) και ανεξάρτητες δεξαμενές, ψυγεία, φίλτρα και αντλίες.

6.5.5 Έλεγχος του δικτύου λιπάνσεως.

Κατά τη λειτουργία της μηχανής του πλοίου, ο μηχανικός υπηρεσίας (βάρδιας) στο μηχανοστάσιο πρέπει να εκτελεί τους ακόλουθους ελέγχους:

α) Μέτρηση πιέσεως λειτουργίας δικτύου.

Η πίεση λειτουργίας πρέπει να είναι η προδιαγεγραμμένη από τον κατασκευαστή. Η πτώση πιέσεως στα φίλτρα πρέπει να είναι 0,5 - 0,7 kp/cm^2. Η πτώση πιέσεως στο δίκτυο δεν πρέπει να υπερβεί συγκεκριμένη τιμή που ορίζει ο κατασκευαστής (συνήθως 0,8 kp/cm^2). Όταν η πτώση πιέσεως φθάσει τη συγκεκριμένη τιμή, τότε ανάβει μια κόκκινη ενδεικτική λυχνία, και αν παρουσιαστεί μεγαλύτερη πτώση πιέσεως, τότε ενεργοποιείται η σειρήνα για να ληφθούν άμεσα τα απαραίτητα μέτρα.

β) Έλεγχος θερμοκρασίας λειτουργίας δικτύου.

Η θερμοκρασία πρέπει να διατηρείται μέσα σε προκαθορισμένα από τον κατασκευαστή όρια. Αυτά συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 50^o C και 60^o C. Εάν η θερμοκρασία του λιπαντικού είναι μικρότερη του κατώτερου ορίου, τότε προκαλείται αύξηση τριβών, λόγω αυξήσεως του ιξώδους. Στην περίπτωση που υπερβεί το άνω όριο, ελαττώνεται το ιξώδες και παρουσιάζεται αυξημένη πτώση πιέσεως, λόγω αυξήσεως των διαρροών στα σημεία λιπάνσεως. Μετά το ψυγείο λαδιού η θερμοκρασία πρέπει να μειώνεται, οπότε γίνεται παράλληλα έλεγχος της καθαρότητας του ψυγείου.

Σε περίπτωση που δεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή πτώση της θερμοκρασίας στο ψυγείο, τότε επεμβαίνουν οι μηχανισμοί ασφαλείας και είτε αυξάνεται η παροχή του νερού ψύξεως είτε ανάβει κόκκινη ενδεικτική λυχνία και, εάν συνεχιστεί, ενεργοποιούνται σειρήνες.

Τα σύγχρονα πλοία διαθέτουν αυτοματισμό με ***αισθητήρες*** (sensors) θερμοκρασιών τοποθετημένους στους τριβείς, η παρακολούθηση των οποίων γίνεται από την κεντρική κονσόλα του μηχανοστασίου.

γ) Έλεγχος υπάρξεως ατμών ελαίου στο στροφαλοθάλαμο.

Σοβαρός κίνδυνος εκρήξεως θα δημιουργηθεί στο χώρο του στροφαλοθαλάμου από τη δημιουργία ατμών λαδιού, λόγω υπερθερμάνσεως τμήματος της μηχανής. Για το λόγο αυτό, τοποθετούνται ειδικά αισθητήρια ανιχνεύσεως ατμών λαδιού εντός του στροφαλοθαλάμου. Σε περίπτωση ανιχνεύσεως ατμών ενεργοποιείται σειρήνα, και εάν δε λυθεί το πρόβλημα η μηχανή αυτομάτως κάνει «κράτει».

δ) Έλεγχος καταναλώσεως λαδιού.

Η αυξημένη κατανάλωση του κυλινδρελαίου κατά τη λειτουργία των διχρόνων μηχανών οφείλεται σε:

- Αυξημένη φθορά χιτωνίων, άρα και κακή στεγανότητα των ελατηρίων.
- Παραμορφώσεις των ελατηρίων των εμβόλων λόγω φθοράς των υποδοχών τους.
- Κακό στρώσιμο του χιτωνίου.
- Κόλλημα των ελατηρίων των εμβόλων.
- Αύξηση της θερμοκρασίας των χιτωνίων.
- Αύξηση θερμοκρασίας της κεφαλής του εμβόλου.
- Χρήση πετρελαίου κακής ποιότητας.

6.5.6 Καθαρισμός του δικτύου λιπάνσεως.

Καθαρισμός του δικτύου λιπάνσεως γίνεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Μετά την αρχική δοκιμή της μηχανής.
- Όταν αφαιρείται το λάδι, για να γίνουν επισκευές στην εγκατάσταση λιπάνσεως.
- Όταν γίνεται αντικατάσταση του λαδιού.

Ο καθαρισμός πραγματοποιείται για να αφαιρεθούν τυχόν σωματίδια και ιζήματα στα φίλτρα, στα ψυγεία, στις δεξαμενές και στις σωληνώσεις.

Για τον καθαρισμό χρησιμοποιείται, συνήθως διάλυμα οξέος, το οποίο παροχετεύεται στην εγκατάσταση. Στη συνέχεια, η εγκατάσταση αποπλένεται με αλκαλικό υγρό και ακολουθεί κυκλοφορία λαδιού, παρακάμπτοντας όμως τους τριβείς και θέτοντας σε λειτουργία τα φυγοκεντρικά καθαριστήρια λαδιού. Το λάδι με τις ακαθαρσίες μεταφέρεται στη δεξαμενή καθιζήσεως. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να ακολουθούνται σχολαστικά οι οδηγίες του κατασκευαστή.

6.5.7 Μέτρα προς αποφυγή της πρόωρης αποσυνθέσεως του λαδιού.

Εάν στο σύστημα λιπάνσεως της κύριας μηχανής παρατηρηθεί μερική αποσύνθεση του λαδιού, για αποφυγή μεγαλυτέρων προβλημάτων ακολουθούνται τα παρακάτω:

1) Το συλλεγόμενο λάδι στον οχετό σαρώσεως πρέπει να απομακρύνεται, για να μην αναμειγνύεται με το υπόλοιπο λάδι και το αλλοιώνει.

2) Γίνεται έλεγχος των δεξαμενών για πιθανή καταστροφή της αντισκωριακής προστασίας των τοιχωμάτων τους, που προκαλεί επιτάχυνση της οξειδώσεως του λαδιού.

3) Σε περίπτωση μη ικανοποιητικού φυγοκεντρικού διαχωρισμού ελέγχεται:

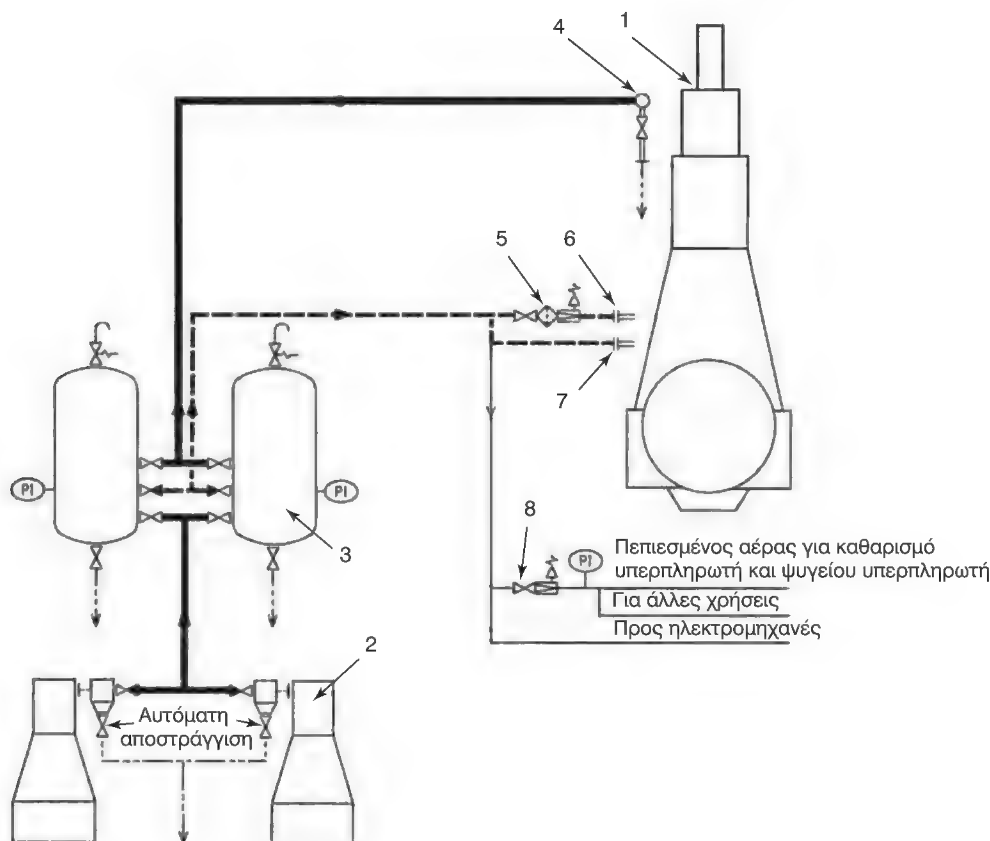
– Εάν η προθέρμανση είναι επαρκής.
– Εάν υπάρχει λανθασμένη ρύθμιση της διαχωριστικής επιφάνειας νερού-λαδιού στο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα.
– Εάν υπάρχει υπερβολική παροχή λαδιού στο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα.

4) Να μην γίνεται ανάμειξη δυο διαφορετικών τύπων λαδιού, εκτός εάν το επιτρέπουν οι εταιρείες προμήθειας λαδιού.

5) Να μην λειτουργεί το λάδι σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, διότι τότε αποσυντίθεται.

6.6 Δίκτυο πεπιεσμένου αέρα.

Το ***δίκτυο πεπιεσμένου αέρα*** παρέχει αέρα υπό πίεση για την εκκίνηση των κυρίων και βοηθητικών μηχανών, για τα όργανα και τα πνευματικά συστήματα ελέγχου, καθώς και για γενικές χρήσεις στο πλοίο [σχ. 6.6α, 6.6β(α) και 6.6β(β)]. Στις γενικές αυ-

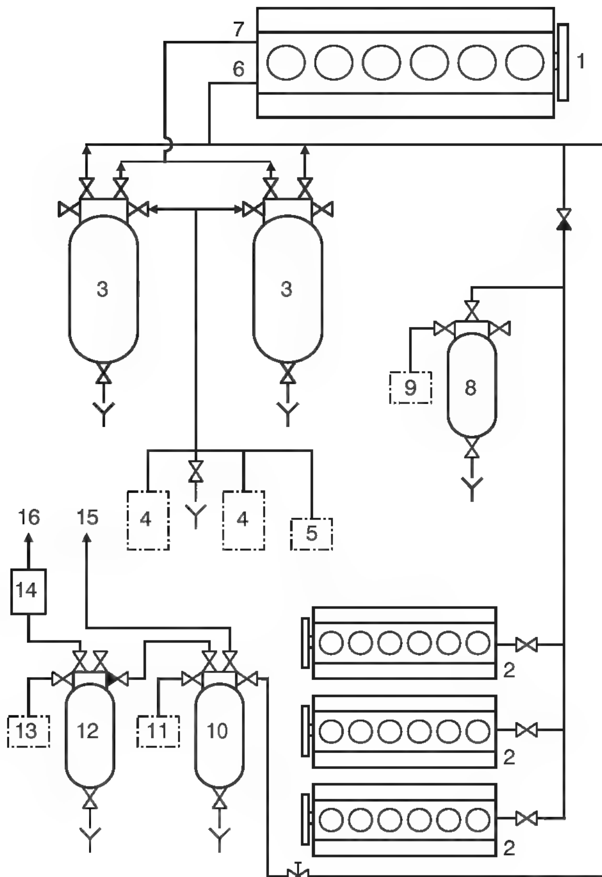


1. Κύρια μηχανή (Main engine).
2. Αεροσυμπιεστής (Air compressor).
3. Αεροφυλάκιο (Starting air receiver, 25/30 bar).
4. Είσοδος αέρα εκκινήσεως (Starting air inlet).
5. Βαλβίδα στραγγαλισμού πιέσεως με φίλτρο (από 25/30 bar σε 7-8 bar) (Pressure reducing and filter unit, from 25/30 to 7-8 bar).
6. Είσοδος αέρα ελέγχου στο σύστημα αυτόματου ελέγχου και ασφάλειας (Control air inlet to control/safety system).
7. Είσοδος αέρα εκκινήσεως στο σύστημα ελέγχου και ασφάλειας (Starting air inlet to control/safety system).
8. Βαλβίδα στραγγαλισμού από 25/30 bar σε 7-8 bar (Pressure reducing unit, from 25/30 to 7-8 bar).

Αγωγοί αέρα εκκινήσεως (Starting air feed pipes).
Αγωγοί αέρα ελέγχου (Control air pipes).
Αγωγοί αποστραγγίσεως (Drain pipes).
Αγωγοί στη μηχανή /συνδέσεις αγωγών (Pipes on engine/pipe connections).

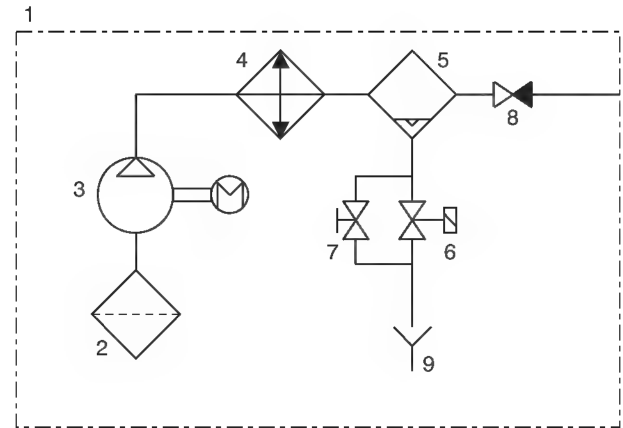
PI: Μετρητής πιέσεως (Pressure Indicator).

Σχ. 6.6α.
Τυπικό σύστημα πεπιεσμένου αέρα εκκινήσεως κύριας μηχανής.



1. Κύρια μηχανή.
2. Ηλεκτρομηχανές.
3. Αεροφυλάκια κύριας μηχανής.
4. Αεροσυμπιεστές εκκινήσεως [βλ. σχ. 6.6β(β)].
5. Αεροσυμπιεστής συμπληρώσεως [βλ. σχ. 6.6β(β)].
6. Προς βαλβίδες ελέγχου.
7. Προς βαλβίδες αέρα εκκινήσεως.
8. Αεροφυλάκιο εφεδρείας (ηλεκτρομηχανών).
9. Αεροσυμπιεστής εφεδρείας [βλ. σχ. 6.6β(β)].
10. Αεροφυλάκιο υπηρεσίας πλοίου.
11. Αεροσυμπιεστής υπηρεσίας πλοίου [βλ. σχ. 6.6β(β)].
12. Αεροφυλάκιο συστημάτων ελέγχου.
13. Αεροσυμπιεστής συστημάτων ελέγχου [βλ. σχ. 6.6β(β)].
14. Ξηραντήρας.
15. Προς διάφορες χρήσεις.
16. Προς συστήματα ελέγχου.

Σχ. 6.6β(α).
Τυπικό συνολικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα.



1. Συγκρότημα αεροσυμπιεστή.
2. Φίλτρο αναρροφήσεως.
3. Αεροσυμπιεστής.
4. Ψυγείο.
5. Διαχωριστήρας νερού και λαδιού.
6. Αυτόματη βαλβίδα αποστραγγίσεως.
7. Χειροκίνητη βαλβίδα αποστραγγίσεως.
8. Βαλβίδα αντεπιστροφής.
9. Προς δεξαμενή ακαθάρτων.

Σχ. 6.6β(β).
Λεπτομερής παρουσίαση συνδεσμολογίας συγκροτήματος αεροσυμπιεστή.

τές χρήσεις περιλαμβάνεται η λειτουργία φορητών εργαλείων, ο καθαρισμός με φύσημα εξαρτημάτων της μηχανής, η διατήρηση υπό σταθερή πίεση των δεξαμενών γλυκού και πόσιμου νερού και η παροχή αέρα για τη λειτουργία ταχυκλείστων επιστομίων.

Η ικανότητα ελιγμών κάθε πλοίου συνδέεται στενά με τη διαθεσιμότητα αέρα εκκινήσεως, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό και το μέγεθος των διαθεσίμων αεροφυλακίων. Τυπικά, πρέπει να υπάρχει αρκετός αέρας, έτσι ώστε να είναι δυνατές έξι διαδοχικές εκκινήσεις μιας μη αναστρεφόμενης μηχανής, ή δώδεκα διαδοχικές εκκινήσεις μιας αναστρεφόμενης μηχανής, χωρίς να υπάρχει ανάγκη επαναπληρώσεως των αεροφυλακίων από τους αεροσυμπιεστές. Για λόγους ασφαλείας, τα κύρια αεροφυλάκια είναι τουλάχιστον δύο. Τα κύρια αεροφυλάκια περιέχουν αέρα υψηλής πιέσεως (της τάξεως των 30 bar), για να μπορεί να κρατηθεί το μέγεθός τους σε λογικά επίπεδα. Η πλήρωσή τους πραγματοποιείται με τη βοήθεια δύο πολυβαθμίων εμβολοφόρων αεροσυμπιεστών μεγάλου μεγέθους. Η συμπλήρωση όμως αέρα κατά την κανονική χρήση πραγματοποιείται συχνά με τη βοήθεια μικρότερου αεροσυμπιεστή (αεροσυμπιεστής συμπληρώσεως). Οι κύριοι αεροσυμπιεστές και ο αεροσυμπιεστής συμπληρώσεως είναι συνδεδεμένοι παράλληλα, ενώ στη συνέχεια, παρεμβάλλεται ξηραντήρας για την αφαίρεση της υγρασίας από τον πεπιεσμένο αέρα. Σε τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιείται χειροκίνητη αποστράγγιση των αεροφυλακίων για την αποβολή της συμπυκνωμένης υγρασίας που διαφεύγει από τους ξηραντήρες. Στην περίπτωση αυξημένων αναγκών

σε πεπιεσμένο αέρα για διαφορετικές χρήσεις τοποθετείται ξεχωριστός αεροσυμπιεστής χαμηλής πιέσεως [σχ. 6.6β(α)].

Συνήθως για την εκκίνηση των βοηθητικών μηχανών τοποθετείται βοηθητικό αεροφυλάκιο μικρότερου μεγέθους από τα κύρια αεροφυλάκια. Το αεροφυλάκιο αυτό συνδέεται με τα κύρια μέσω βαλβίδας αντεπιστροφής (αεροφυλάκιο εφεδρείας). Για την αρχική εκκίνηση του πλοίου, το βοηθητικό αεροφυλάκιο μπορεί να τροφοδοτείται από ανεξάρτητο αεροσυμπιεστή ασφαλείας, ο οποίος παίρνει κίνηση είτε από μικρό κινητήρα Diesel χειροκίνητης εκκινήσεως (σπάνια περίπτωση), είτε από ηλεκτροκινητήρα που τροφοδοτείται από τον πίνακα ανάγκης του πλοίου. Μετά τον αεροσυμπιεστή παρεμβάλλεται ξηραντήρας.

Ο πεπιεσμένος αέρας για τα συστήματα ελέγχου του πλοίου παρέχεται συνήθως από ανεξάρτητο συμπιεστή, με την παρεμβολή ξηραντήρα υψηλής ποιότητας και αποδόσεως, λόγω ευπάθειας των πνευματικών συστημάτων ελέγχου. Για λόγους ασφαλείας, το κύκλωμα των συστημάτων ελέγχου συνδέεται και με το κύριο δίκτυο πεπιεσμένου αέρα (εκκινήσεως των μηχανών), αφού παρεμβληθεί βαλβίδα μειώσεως της πιέσεως [σχ. 6.6β(α)].

Η τροφοδοσία των υπολοίπων χρήσεων του πλοίου πραγματοποιείται από ειδικό αεροφυλάκιο (το αεροφυλάκιο υπηρεσίας πλοίου), το οποίο τροφοδοτείται από ανεξάρτητο αεροσυμπιεστή (υπηρεσίας πλοίου), με παρεμβολή ξηραντήρα. Για λόγους ασφαλείας το αεροφυλάκιο υπηρεσίας πλοίου είναι επίσης συνδεδεμένο στο κύριο σύστημα (εκκινήσεως των μηχανών) με παρεμβολή βαλβίδας μειώσεως της πιέσεως.

6.7 Μέθοδοι ανακτήσεως θερμότητας.

Μέρος της θερμότητας που αποβάλλεται από τους κινητήρες του πλοίου, μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένες εφαρμογές εντός του μηχανοστασίου ή του πλοίου γενικότερα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της ενέρ-γειας του καυσίμου, αυξάνοντας έτσι το συνολικό βαθμό αποδόσεως της εγκαταστάσεως. Τα σημεία αποβολής θερμότητας που έχουν πρακτική σημασία για την ανάκτηση θερμότητας, είναι κυρίως τα καυσαέρια και δευτερευόντως το κύκλωμα ψύξεως της κύριας μηχανής και το κύκλωμα ψύξεως του αέρα υπερπληρώσεως.

Θερμότητα ανακτάται από τα καυσαέρια στο ***λέβητα καυσαερίων*** (gas boiler) για να παραχθεί ατμός. Ο ατμός χρησιμοποιείται στη συνέχεια, για την προθέρμανση του καυσίμου και του λαδιού λιπάνσεως ή για χρήσεις στους χώρους ενδιαιτήσεως (σχ. 6.7α). Σε ειδικές περιπτώσεις, όταν η εγκατάσταση των κινητήρων προώσεως είναι πολύ μεγάλη και οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μικρές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παραγόμενος ατμός από τα καυσαέρια για την κίνηση ατμοστροβίλου συνδεδεμένου με ηλεκτρογεννήτρια (σχ. 6.7β και 6.7γ). Η συμπληρωματική ηλεκτρική ισχύς παράγεται είτε με συμπληρωματικό ατμό από λέβητα πετρελαίου είτε με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

Η θερμότητα που ανακτάται από το ψυγείο του αέρα υπερπληρώσεως των κυρίων μηχανών, χρησιμοποιείται συνήθως στην προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του λέβητα καυσαερίων (οικονομητήρας), στη θέρμανση των δεξαμενών καυσίμου, στην προθέρμανση του λαδιού πριν τους φυγοκεντρικούς διαχωριστές, σε ψυκτικά συστήματα με κύκλο απορροφήσεως, στη θέρμανση των χώρων ενδιαιτήσεως και στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσεως.

Η θερμότητα, που ανακτάται από το νερό ψύξεως των χιτωνίων των κυρίων μηχανών, χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή απεσταγμένου νερού. Ειδική πρόβλεψη λαμβάνεται, έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού ψύξεως των χιτωνίων να μην πέφτει κάτω από συγκεκριμένο όριο, για να αποφεύγεται η δημιουργία οξειδίων του θείου στο εσωτερικό των χιτωνίων καθώς και ρωγμών.

Επειδή η εκμετάλλευση της ενέργειας γίνεται με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας, η θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση δεν μπορεί να φθάσει ποτέ τη θερμοκρασία της πηγής θερμότητας. Η διαφορά αυτή της θερμοκρασίας εξαρτάται από το είδος του χρησιμοποιούμενου εναλλάκτη θερμότητας, από τη θερμοκρασία της πηγής θερμότητας και από την απόδοση του εναλλάκτη.

Το ανακτώμενο ποσό θερμότητας από τα καυσαέρια στη μονάδα του χρόνου (θερμική ισχύς) δίδεται από τη σχέση:

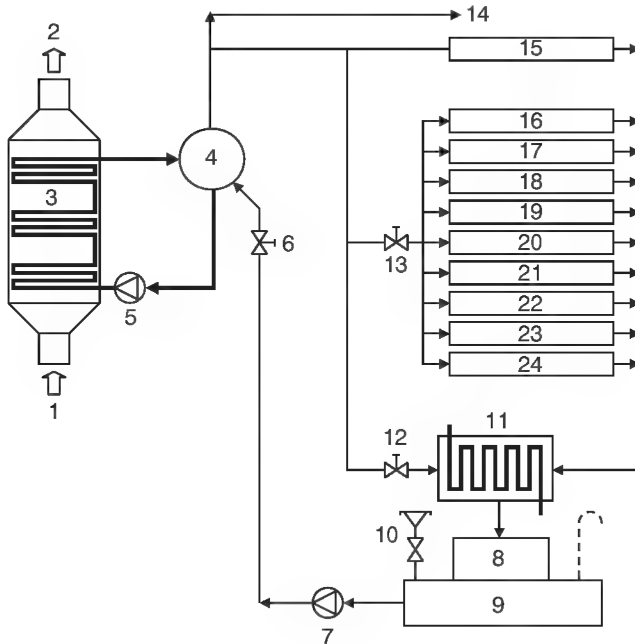
$$\dot{Q}_{αν,g} = \dot{m}_g c_p \Delta T_g$$

όπου $\dot{Q}_{αν,g}$ (σε kW) η θερμική ισχύς που αφαιρείται από τα καυσαέρια, $\dot{m}_g$ η παροχή μάζας των καυσαερίων (σε kg/s), c_p (σε kj/kgK) η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση των καυσαερίων στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και ΔT_g (σε K) η διαφορά θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου των καυσαερίων από τον εναλλάκτη.

Η παραπάνω σχέση ισχύει και για τους εναλλάκτες θερμότητας στους υπερπληρωτές, δηλαδή:

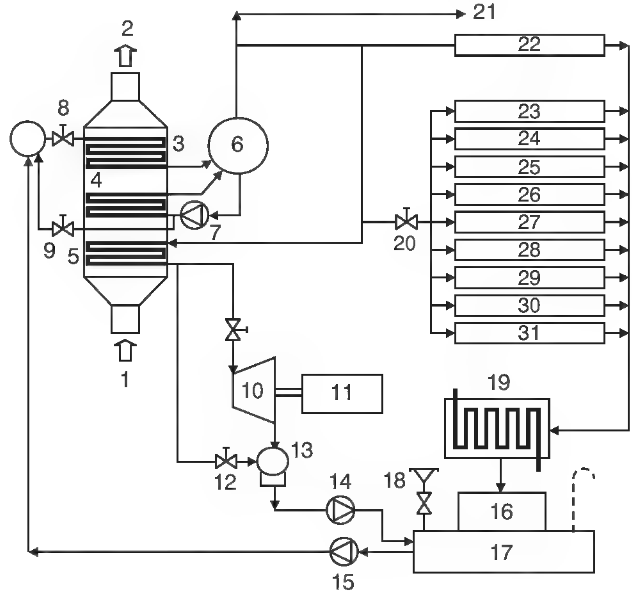
$$\dot{Q}_{αν,\,a} = \dot{m}_a c_p \Delta T_a$$

όπου $\dot{Q}_{αν,a}$ (σε kW) η θερμική ισχύς που αφαιρείται από τον συμπιεσμένο αέρα, $\dot{m}_a$ η παροχή μάζας αέρα (σε kg/s), c_p (σε kj/kgK) η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση του αέρα στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση, και ΔT_a (σε K) η διαφορά θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του αέρα από τον εναλλάκτη θερμότητας.



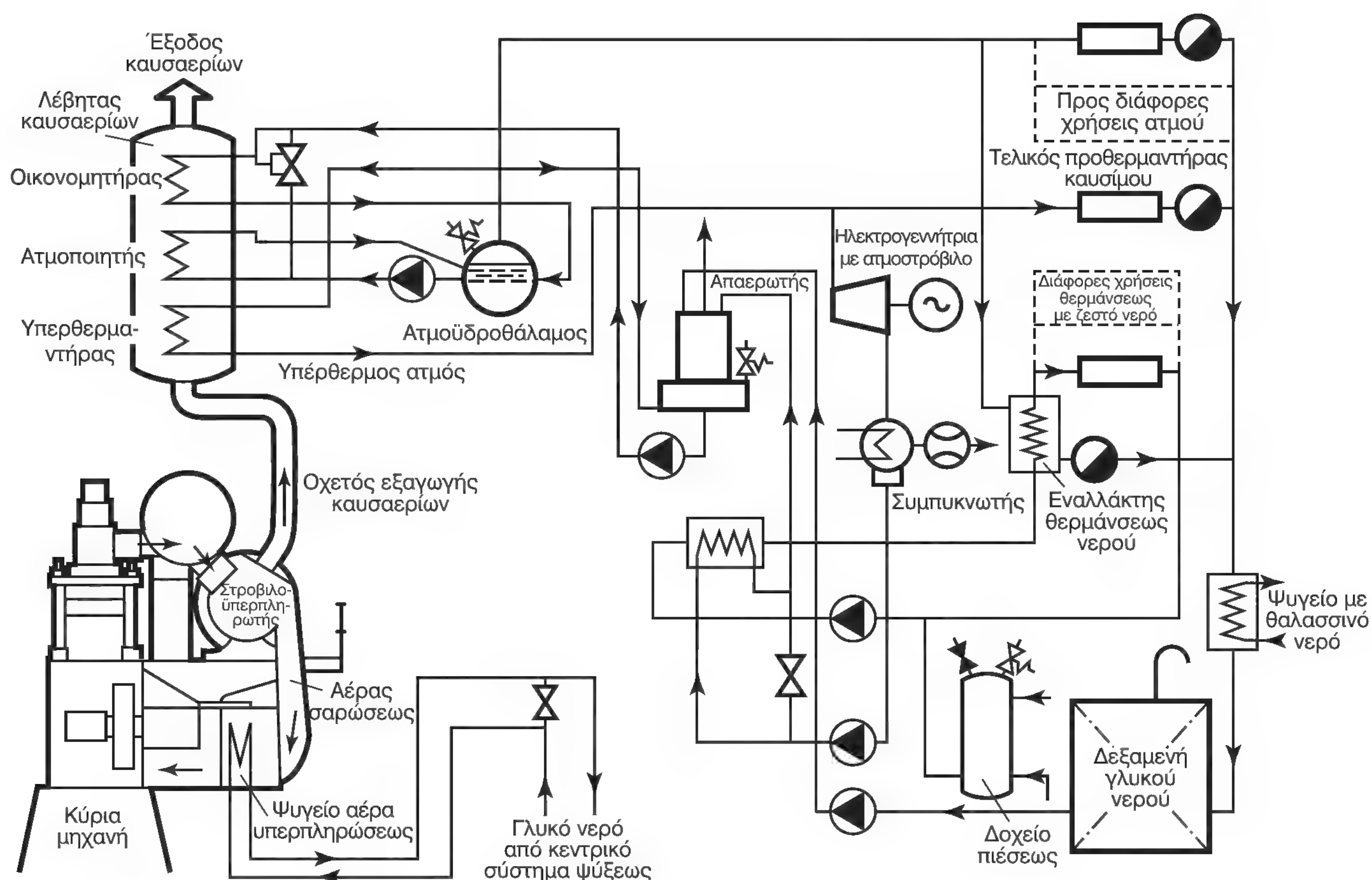
1. Καυσαέρια από μηχανή.
2. Έξοδος καυσαερίων.
3. Λέβητας καυσαερίων.
4. Λέβητας πετρελαίου.
5. Αντλία κυκλοφορίας λέβητα καυσαερίων.
6. Ρυθμιστική βαλβίδα τροφοδοτικού νερού.
7. Τροφοδοτική αντλία λέβητα.
8. Δεξαμενή επιθεωρήσεως.
9. Δεξαμενή αποστραγγίσεως.
10. Συμπλήρωση νερού.
11. Ψυγείο / συμπυκνωτής.
12. Βαλβίδα απορρίψεως περίσσειας ατμού.
13. Βαλβίδα μειώσεως πιέσεως.
14. Εκκαπνιστές.
15. Τελικοί θερμαντήρες καυσίμου.
16. Δεξαμενές καυσίμου.
17. Θέρμανση σωλήνων βαρέος πετρελαίου.
18. Θερμαντήρες διαχωριστήρων καυσίμου.
19. Δεξαμενές λαδιού λιπάνσεως.
20. Θερμαντήρες διαχωριστήρων λαδιού.
21. Θερμαντήρες νερού χιτωνίων κύριας μηχανής.
22. Θερμαντικό στοιχείο δεξαμενής αποστραγγίσεως.
23. Θερμαντήρας νερού.
24. Διάφορες χρήσεις.

Σχ. 6.7α.
Απλοποιημένο σύστημα ανακτήσεως θερμότητας από λέβητα καυσαερίων.



1. Καυσαέρια από κινητήρα.
2. Εξαγωγή καυσαερίων.
3. Οικονομητήρας.
4. Ατμοποιητής.
5. Υπερθερμαντήρας.
6. Λέβητας πετρελαίου.
7. Αντλία κυκλοφορίας λέβητα καυσαερίων.
8. Ρυθμιστική βαλβίδα τροφοδοτικού νερού.
9. Βαλβίδα ανακυκλοφορίας οικονομητήρα.
10. Ατμοστρόβιλος.
11. Γεννήτρια.
12. Βαλβίδα απορρίψεως περίσσειας ατμού.
13. Συμπυκνωτής κενού.
14. Αντλία συμπυκνωμάτων.
15. Τροφοδοτική αντλία λέβητα καυσαερίων.
16. Δεξαμενή επιθεωρήσεως.
17. Δεξαμενή συμπυκνωμάτων.
18. Συμπλήρωση νερού.
19. Ψυγείο.
20. Βαλβίδα μειώσεως πιέσεως.
21. Εκκαπνιστές.
22. Τελικοί θερμαντήρες καυσίμου.
23. Δεξαμενές καυσίμου.
24. Θέρμανση σωλήνων βαρέος πετρελαίου.
25. Θερμαντήρες διαχωριστήρων καυσίμου.
26. Δεξαμενές λαδιού λιπάνσεως.
27. Θερμαντήρες διαχωριστήρων λαδιού λιπάνσεως.
28. Θερμαντήρες νερού χιτωνίων κύριας μηχανής.
29. Θερμαντικό στοιχείο δεξαμενής αποστραγγίσεως.
30. Θερμαντήρας νερού.
31. Διάφορες χρήσεις.

Σχ. 6.7β.
Κίνηση ατμοστροβίλου συνδεδεμένου με ηλεκτρογεννήτρια από ατμό που παράγεται στο λέβητα καυσαερίων.



Σχ. 6.7γ.
Ολοκληρωμένο σύστημα ανακτήσεως θερμότητας κύριας μηχανής.

6.8 Συστήματα ψύξεως με γλυκό νερό.

Το σχήμα 6.8α απεικονίζει ένα τυπικό ***σύστημα ψύξεως*** με ***γλυκό νερό,*** για εγκατάσταση που περιλαμβάνει μια κύρια μηχανή με ζύγωμα και τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαιομηχανών. Τα συστήματα ψύξεως γλυκού νερού διακρίνονται σε σύστημα ψύξεως της κύριας μηχανής (χωρίζεται σε επιμέρους υποσυστήματα ψύξεως των χιτωνίων, των εμβόλων και των εγχυτήρων καυσίμου της κύριας μηχανής) και σε σύστημα ψύξεως των πετρελαιομηχανών των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

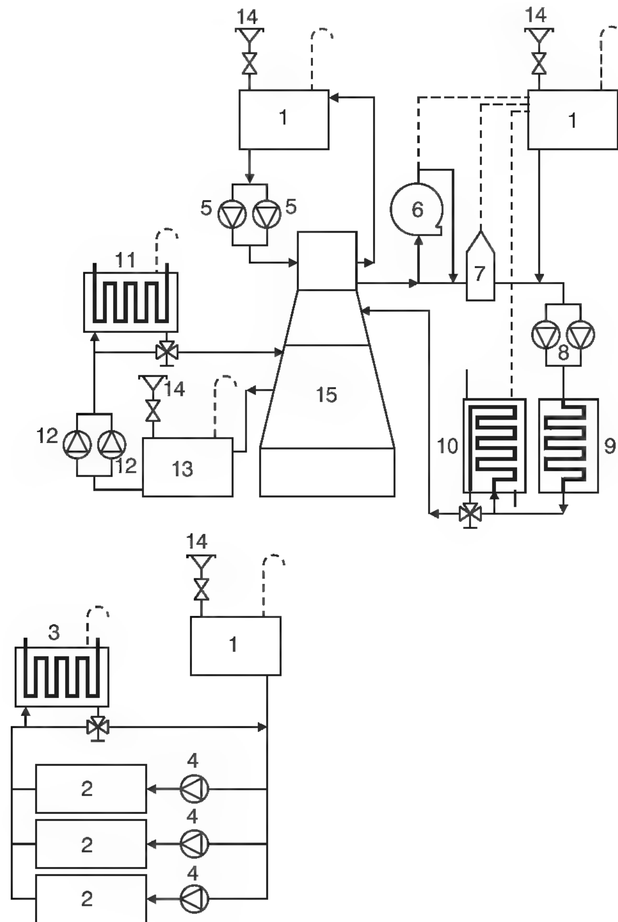
Οι σύγχρονες τάσεις οδηγούν στη σχεδίαση ***κεντρικού συστήματος ψύξεως*** με ***γλυκό νερό***, το οποίο, εκτός των μηχανών, ψύχει και όλα τα υπόλοιπα συστήματα του μηχανοστασίου, χωρίς την ανάγκη χρησιμοποιήσεως πολλαπλών εναλλακτών θερμότητας θαλασσινού νερού (σχ. 6.8β). Στην παραπάνω διάταξη, χρησιμοποιούνται κεντρικοί εναλλάκτες θερμότητας θαλασσινού νερού. Το κεντρικό σύστημα ψύξεως με γλυκό νερό μπορεί να χωρισθεί σε υποσυστήματα υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας. Το πλεονέκτημα της χρήσεως κεντρικού συστήματος ψύξεως είναι η μείωση του κόστους συντηρήσεως, διότι μόνον οι κεντρικοί εναλλάκτες θερμότητας είναι εκτεθειμένοι στο θαλασσινό νερό. Το επιπρόσθετο κόστος για την εγκατάσταση κεντρικού συστήματος ψύξεως με γλυκό νερό μπορεί εν μέρει να εξισορροπηθεί από τη μειωμένη χρήση υλικών υψηλού κόστους, ανθεκτικών στη διάβρωση του θαλασσινού νερού και από το μειωμένο κόστος συντηρήσεως. Μία τέτοια κεντρική εγκατάσταση επιτρέπει τη μεγαλύτερη συνολική εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας, η οποία διαφορετικά θα κατέληγε στη θάλασσα μαζί με το θαλασσινό νερό ψύξεως. Έτσι, αυξάνεται ο συνολικός βαθμός αποδόσεως της εγκαταστάσεως, μειώνοντας το κόστος λειτουργίας.

Οι σωληνώσεις προσαγωγής και απαγωγής του νερού ψύξεως είναι συνήθως μονωμένες, τοποθετούνται δε απαραιτήτως θερμόμετρα ανά ζεύγη σε όλα τα επιμέρους τμήματα της μηχανής. Οι ενδείξεις των θερμομέτρων μεταφέρονται με τηλεμετρία και

στον κεντρικό πίνακα ελέγχου του μηχανοστασίου.

6.8.1 Υποσύστημα νερού ψύξεως χιτωνίων.

Το ***υποσύστημα νερού ψύξεως χιτωνίων*** (σχ. 6.8γ) είναι συνήθως ανεξάρτητο από το ψυγείο λαδιού και το ψυγείο του αέρα υπερπληρώσεως. Τα μέρη αυτά μπορεί να ψύχονται απευθείας με θαλασσινό



1. Δεξαμενή διαστολής.
2. Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ).
3. Ψυγείο Η/Ζ.
4. Αντλία κυκλοφορίας νερού ψύξεως Η/Ζ.
5. Αντλία κυκλοφορίας νερού ψύξεως εγχυτήρων.
6. Στροβιλοϋπερπληρωτής.
7. Απαερωτής.
8. Αντλίες κυκλοφορίας νερού εμβόλων.
9. Αποστακτήρας νερού.
10. Ψυγείο νερού χιτωνίων.
11. Ψυγείο νερού εμβόλων.
12. Αντλία κυκλοφορίας νερού εμβόλων.
13. Δεξαμενή αποστραγγίσεως νερού εμβόλων.
14. Συμπλήρωση νερού.
15. Κύρια μηχανή.

Σχ. 6.8α.
Τυπικά συστήματα ψύξεως με γλυκό νερό κύριας μηχανής και ηλεκτρομηχανών.

νερό. Σε άλλες διατάξεις το νερό ψύξεως των χιτωνίων μπορεί να αποτελεί μέσο ψύξεως και για τα ψυγεία λαδιού και αέρα.

Μια ανυψωμένη δεξαμενή διαστολής διατηρεί θετικό ύψος στην πλευρά αναρροφήσεως του συστήματος (για την προστασία των αντλιών από σπηλαίωση). Αποτελεί μάλιστα κατάλληλο σημείο για την κατάληξη των σωλήνων εξαερισμού, την παροχή τροφοδοτικού νερού αναπληρώσεως των απωλειών και την προσθήκη των καταλλήλων χημικών για την ανάσχεση της διαβρώσεως και των καθαλατώσεων.

Στο σχήμα 6.8α παρουσιάζονται επίσης οι γραμμές τροφοδοσίας και επιστροφής του στροβιλοϋπερπληρωτή. Ακόμη και οι υπερπληρωτές, για τους οποίους δεν απαιτείται ψύξη του κελύφους, χρειάζονται συνήθως ψυκτικό νερό για το έδρανο στην πλευρά του στροβίλου των καυσαερίων. Σε κάθε περίπτωση, η βεβιασμένη ροή του νερού αναπτύσσεται με ακροφύσιο τοποθετημένο σε παρακαμπτήριο αγωγό.

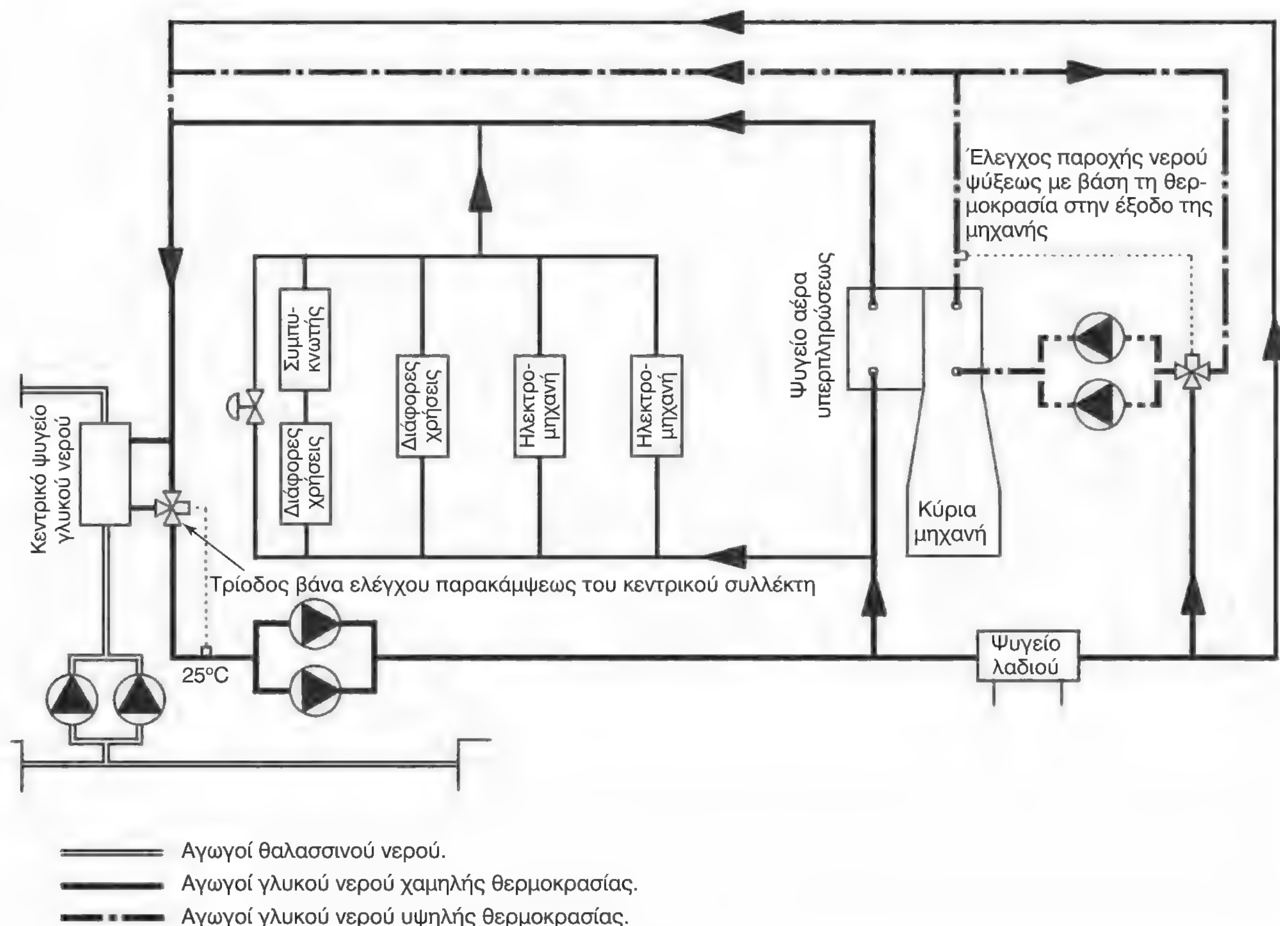
Για την κυκλοφορία του νερού στα χιτώνια μπορεί να τοποθετούνται και δύο αντλίες. Και οι δύο κινούνται από ηλεκτροκινητήρα σε εγκαταστάσεις αργοστρόφων πετρελαιομηχανών. Σε εγκαταστάσεις όμως μεσοστρόφων ή ταχυστρόφων κινητήρων η μια αντλία είναι εξαρτημένη στην κύρια μηχανή, ενώ η εφεδρική κινείται από ηλεκτροκινητήρα, και οπλίζει αυτόματα σε περίπτωση κρατήσεως της μηχανής.

Τα περισσότερα ποντοπόρα πλοία ανακτούν τη θερμότητα από το νερό ψύξεως των χιτωνίων, που χρησιμοποιείται για παραγωγή γλυκού νερού. Η μονάδα παραγωγής γλυκού νερού συνήθως τοποθετείται πριν από το ψυγείο νερού χιτωνίων. Μπορεί να είναι εφοδιασμένη με σερπαντίνα ατμού ή νερού για συμπληρωματική θέρμανση, η οποία χρησιμοποιείται όταν δεν είναι διαθέσιμη επαρκής θερμότητα από το νερό ψύξεως των χιτωνίων.

Όταν ο κινητήρας δεν λειτουργεί, χρησιμοποιείται θερμαντήρας για τη θέρμανση του νερού των χιτωνίων. Η διατήρηση του κινητήρα σε θερμή κατάσταση βοηθά στη μείωση της διαβρώσεως, αποφεύγονται οι κίνδυνοι δημιουργίας ρωγμών από θερμικές τάσεις, ενώ διευκολύνεται η εκκίνηση της μηχανής.

6.8.2 Υποσύστημα νερού ψύξεως εμβόλων.

Ενώ όλοι οι κινητήρες χωρίς ζύγωμα και μερικοί κινητήρες με ζύγωμα χρησιμοποιούν λάδι για την ψύξη των εμβόλων, ένας αριθμός κινητήρων με ζύγωμα χρησιμοποιεί ***υποσύστημα νερού*** για την ***ψύξη***



Σχ. 6.8β.
Κεντρικό δίκτυο ψύξεως με γλυκό νερό.

των ***εμβόλων***. Το υποσύστημα αυτό είναι ανεξάρτητο από το κύκλωμα ψύξεως των χιτωνίων. Το ψυκτικό νερό φθάνει και εγκαταλείπει τα έμβολα μέσω τηλεσκοπικών σωλήνων, οι οποίοι βρίσκονται συχνά κλεισμένοι σε εσωτερικό τμήμα του στροφαλοθαλάμου. Κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ρύπανση του λαδιού σε περίπτωση διαρροής νερού.

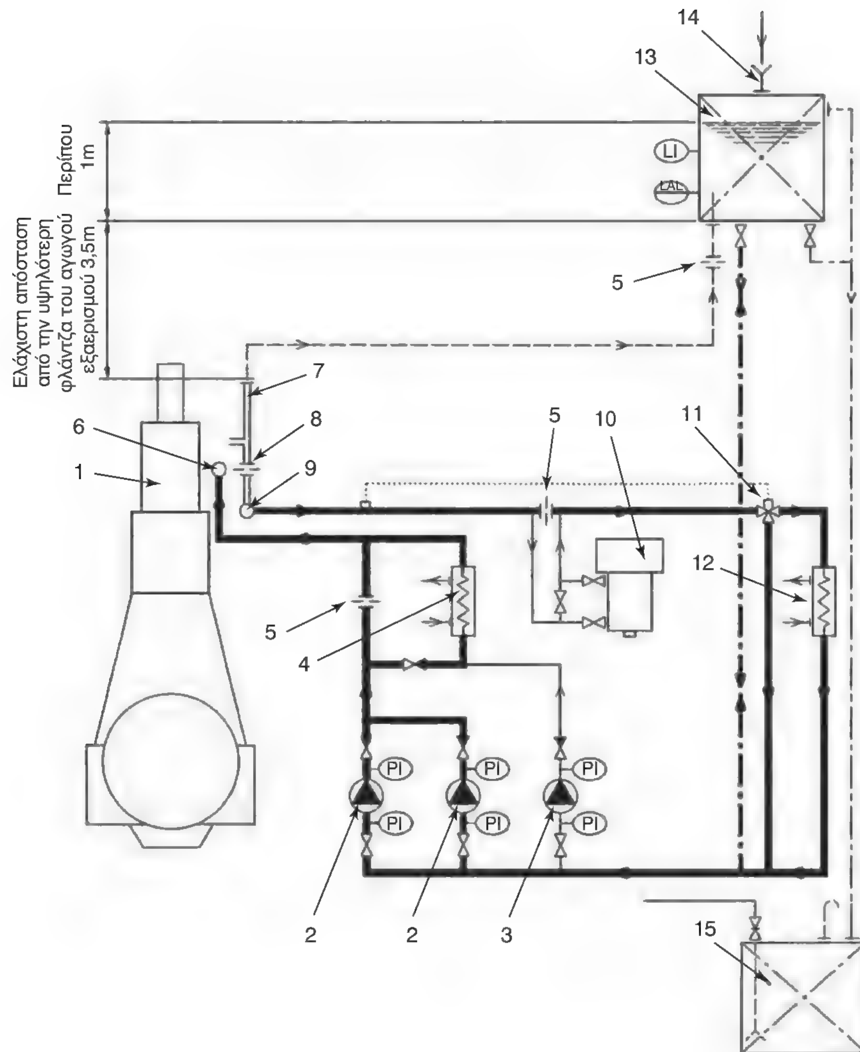
Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του νερού στην έξοδο των εμβόλων και του αυξημένου κινδύνου σπηλαιώσεως στην αναρρόφηση της αντλίας, μερικοί κατασκευαστές επιλέγουν τη χρήση διπλών αντλιών βαθέων φρεατίων, βυθισμένων στη δεξαμενή. Και οι δύο αντλίες είναι ηλεκτροκίνητες.

6.8.3 Υποσύστημα ψύξεως εγχυτήρων καυσίμου.

Οι μεγάλοι πετρελαιοκινητήρες διαθέτουν ***υποσύστημα ψύξεως*** των ***εγχυτήρων καυσίμου***. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι εγχυτήρες ψύχονται μόνον με αγωγή προς τις κεφαλές των κυλίνδρων, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις ψύχονται με νερό που κυκλοφορεί σε υποσύστημα του συστήματος ψύξεως χιτωνίων. Σε ειδικές κατασκευές ψύχονται με πετρέλαιο Diesel, που κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Όταν εγκαθίσταται ανεξάρτητο υποσύστημα ψύξεως με νερό, αυτό αποτελεί μικρογραφία του κυκλώματος ψύξεως των χιτωνίων, συχνά χωρίς ψυγείο και με σερπαντίνα ατμού στη δεξαμενή διαστολής. Έτσι, διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε μερικό φορτίο, όταν χρησιμοποιεί βαρύ πετρέλαιο ως καύσιμο, για να αποφευχθεί η μείωση της θερμοκρασίας ψεκασμού του πετρελαίου.

6.8.4 Σύστημα ψύξεως ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

Οι βοηθητικές μηχανές συνήθως έχουν ενσωματωμένο κύκλωμα ψύξεως, στο οποίο είναι συνδεδεμένο το ψυγείο αέρα υπερπληρώσεως, το ψυγείο νερού χιτωνίων και το ψυγείο λαδιού. Το κύκλωμα



1. Κύρια μηχανή (Main engine).
2. Αντλία ψύξεως κυλίνδρων (Cylinder cooling water pump).
3. Αντλία προθερμάνσεως (προαιρετική) (Pre-heating circulating pump)(optional).
4. Προθερμαντήρας νερού ψύξεως κυλίνδρων (Heater for cylinder cooling water circuit).
5. Στραγγαλιστική βαλβίδα (Throttling disc).
6. Είσοδος νερού ψύξεως προς τους κυλίνδρους (Cylinder cooling water inlet).
7. Αγωγός εξαερισμού του δικτύου (Air vent pipe).
8. Στραγγαλιστική βαλβίδα (Throttling disc).
9. Έξοδος νερού ψύξεως των κυλίνδρων (Cylinder cooling water outlet).
10. Αφαλατωτής (Freshwater generator).
11. Τρίοδος βαλβίδα ελεγχόμενη με βάση τη θερμοκρασία εξόδου του νερού (Automatic temperature control valve).
12. Ψυγείο νερού ψύξεως (Cylinder cooling water cooler).
13. Δεξαμενή διαστολών (Cylinder cooling water expansion tank).
14. Στόμιο πληρώσεως και εισαγωγής χημικών προσθέτων στο νερό ψύξεως (Filling pipe/inlet chemical treatment).
15. Δεξαμενή υπερχειλίσεως (Cooling water drain tank).

PI: Μετρητής πιέσεως (Pressure Indicator).
LI: Ενδείκτης στάθμεως (Level Indicator).
LAL: Συναγερμός χαμηλής στάθμεως (Level Allarm Low).

Αγωγοί γλυκού νερού ψύξεως (Fresh water pipes).
Αγωγός εξισορροπήσεως δικτύου (Balance pipe).
Αγωγός αποστραγγίσεως και υπερχειλίσεως (Water drain pipes).
Αγωγοί εξαερισμού (Air vent pipes).
Αγωγοί πάνω στη μηχανή/συνδέσεως αγωγών (Pipes on engine/pipe connections).

Σχ. 6.8γ.

Υποσύστημα νερού ψύξεως χιτωνίων κύριας μηχανής.

εξυπηρετεί μια εξαρτημένη αντλία σε κάθε μηχανή, ενώ υπάρχει, για κάθε μηχανή, εφεδρική ηλεκτρική αντλία. Το σύστημα του σχήματος 6.8α συνδυάζει τα κυκλώματα ψύξεως κάθε ηλεκτρομηχανής σε ένα κοινό σύστημα με κεντρικό ψυγείο και κεντρική δεξαμενή διαστολής. Η διάταξη αυτή παρέχει το πλεονέκτημα της κυκλοφορίας θερμού νερού στους κινητήρες που δεν λειτουργούν. Έτσι τους προστατεύει από τη διάβρωση και τη δημιουργία θερμικών τάσεων, ενώ υποβοηθά την εκκίνηση και την πιο γρήγορη φόρτιση των εφεδρικών μηχανών. Παλαιότερα επικρατούσε η άποψη ότι για λόγους αξιοπιστίας πρέπει να υπάρχει ξεχωριστό ψυκτικό κύκλωμα για κάθε ηλεκτρομηχανή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.1
ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
Σύμφωνα με το BS 6843 Part 1: 1987

CLASSIFICATION OF MARINE FUELS
According to BS 6843 Part 1: 1987

Family: subdivision according to the type of fuel Οικογένεια: Υποδιαίρεση ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου	*Designation Symbol ISO - F* Σύμβολο Καθορισμού ISO - F		*Remarks* Παρατηρήσεις
	Category: Subdivision according to application and properties Κατηγορία: Υποδιαίρεση ανάλογα με την εφαρμογή και τις ιδιότητες	*Maximum viscosity* Μέγιστο ιξώδες (cSt)	
Distillate Fuel **Καύσιμο αποστάξεως**	DMX		*Emergency purposes external to the main machinery spaces* Περιπτώσεις εξωγενών εκτάκτων αναγκών
	DMA		*General purpose, shall contain no residuum* Γενικής χρήσεως, δεν πρέπει να περιέχεται καθόλου υπόλειμμα
	DMB		*General purpose, may contain a trace residuum* Γενικής χρήσεως, μπορεί να περιέχεται ελάχιστο υπόλειμμα
	DMC		*General purpose, may contain some residuum* Γενικής χρήσεως, μπορεί να περιέχεται λίγο υπόλειμμα
Residuum Fuel **Καύσιμο υπολείμματος αποστάξεως**	RMA RMB RMC RMD RME RMF RMG RMH RMH RMH	10 10 10 15 25 25 35 35 45 55	*Maximum limit for density specified in ISO 8217* Μέγιστο όριο πυκνότητας καθορισμένο κατά ISO 8217
	RMK RML RMK RML RML	35 35 45 45 55	*No density limit* Δεν υπάρχει όριο πυκνότητας

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.2
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΝΑΥΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΑΠΟΣΤΑΞΕΩΣ
Σύμφωνα με το ISO 8217: 1987

CREQUIREMENTS FOR MARINE DISTILLATE FUELS
According to ISO 8217: 1987

NOTE: *The values in this table are maximum or minimum values for each property. The actual values for any batch of fuel may vary within these limits.*
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές στον παρακάτω πίνακα είναι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές κάθε ιδιότητας. Οι πραγματικές τιμές κάθε παρτίδας καυσίμου πρέπει να βρίσκονται μεταξύ των ορίων αυτών.

Characteristic **Χαρακτηριστικό**	***Test Method*** **Μέθοδος ελέγχου**	***Limit*** **Όριο**	***Designation ISO–F*** **Κατάταξη ISO–F**			
			DMX	**DMA**	**DMB**	**DMC**
Density at Πυκνότητα στους 15°C, kg/m² (1)	ISO 3675	max	(2)	890	900,0	920,0
Kinematic viscosity at Κινηματικό ιξώδες στους 40°C (cSt) (3)	ISO 3104	min max	1,40 5,50	1,50 6,00	– 11,0	– 14,0
Flash point, °C Σημείο αναφλέξεως, °C	ISO 2719	min	43	60	60	60
Pour point, (upper) °C (4) Σημείο ροής, (ανώτερο) °C (4) *Winter Quality* (χειμώνας) *Summer Quality* (καλοκαίρι)	ISO 3016	 max max	 – –	 –6 0	 0 6	 0 6
Cloud point, °C Σημείο δρόσου, °C	ISO 3015	max	-16(5)	–	–	–
Carbon residue, Ramsbottom % (m/m) on 10% residue Υπόλειμμα άνθρακα, κατά *Ramsbottom % (m/m)* σε 10% υπόλειμμα	ISO 4262	max	0,20	0,20	–	–
Carbon residue, Ramsbottom % (m/m) Υπόλειμμα άνθρακα, κατά *Ramsbottom % (m/m)*	*See (6)* Βλ. παρατήρηση (6)	max	–	–	0,25	2,50
Ash, % (m/m) Τέφρα, % (m/m)	ISO 6245	max	0,01	0,01	0,01	0,05
Sediment by extraction, Ίζημα κατά την απόσταξη, % (m/m)	ISO 3735	max	–	–	0,07	–
Water, Νερό, % (V/V)	ISO 3733	max	–	–	0,30	0,30
Cetane number Αριθμός Κετανίου	ISO 5165	mix	45	40	35	–
Visual inspection Οπτική παρατήρηση	*See (7)* Βλ. παρατήρηση (7)	–	*See (7)* Βλ. παρατήρηση (7)		–	–
Sulphur, Θείο, % (m/m)	*See (8)* Βλ. παρατήρηση (8)	max	1,0	1,5	2,0	2,0
Vanadium, Βανάδιο, mg/kg	*See (9)* Βλ. παρατήρηση (9)	max	–	–	–	100

Παρατηρήσεις

(1) *Density in kilograms per litres at 15 ºC should be multiplied by 1000 before comparison with these values.* Η πυκνότητα σε κιλά ανά λίτρο πρέπει να πολλαπλασιάζεται επί 1000 πριν συγκριθεί με τις τιμές αυτές.

(2) *In some countries there will be a maximum limit.*
Σε κάποιες χώρες θα υπάρξει μέγιστο όριο.

(3) 1 cSt = 1 mm^2/s

(4) *Purchasers should ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially if the vessel is operating in both the northern and southern hemispheres.*
Οι αγοραστές πρέπει να επιβεβαιώνουν ότι το συγκεκριμένο σημείο ροής είναι κατάλληλο για τον εξοπλισμό του πλοίου, ειδικά εάν το πλοίο ταξιδεύει τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο ημισφαίριο.

(5) *This fuel is suitable for use at ambient temperatures down to –15 ºC without heating the fuel.*
Το καύσιμο αυτό είναι κατάλληλο για χρήση σε εξωτερικές θερμοκρασίες έως –15 ºC χωρίς προθέρμανση του καυσίμου.

(6) *If method specified in ISO 4262 is not available, the method specified in ISO 6615 shall be used and the limits shall be as follows.*
Εάν η μέθοδος που περιγράφεται στο ISO 4262 δεν είναι διαθέσιμη, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος που περιγράφεται στο ISO 6615 και τα όρια πρέπει να είναι τα ακόλουθα: DMX 0.14, DMA 0.14, DMB 0.28, DMC 3.0.

(7) *Inspect the sample in good light and at a temperature between 10 and 25ºC. It shall appear clear and bright.* Εξετάστε το δείγμα σε καλό φωτισμό και σε θερμοκρασία μεταξύ 10 και 25ºC. Θα πρέπει να δείχνει καθαρό και λαμπερό.

(8) *The sulphur content shall be determined in accordance with ISO 8754.*
Η περιεκτικότητα σε θείο πρέπει να προσδιορίζεται σε συμφωνία με το ISO 8754.

(9) *An international standard for vanadium content is being prepared. Pending its completion, vanadium content shall be determined by method DIN 51 790 Part 2.*
Το διεθνές πρότυπο για την περιεκτικότητα σε βανάδιο είναι σε προετοιμασία. Μέχρι την έκδοσή του η περιεκτικότητα σε βανάδιο πρέπει να προσδιορίζεται με βάση την προδιαγραφή DIN 51 790 Μέρος 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.3
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΝΑΥΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ
Σύμφωνα με το ISO 8217: 1987 (E)

REQUIREMENTS FOR MARINE RESIDUAL FUELS
According to ISO 8217: 1987 (E)

NOTE: *The values in this table are maximum or minimum values for each property. The actual values for any batch of oil may vary within these limits.*
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές στον παρακάτω πίνακα είναι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές κάθε ιδιότητας. Οι πραγματικές τιμές κάθε παρτίδας καυσίμου πρέπει να βρίσκονται μεταξύ των ορίων αυτών.

Characteristics Χαρακτηριστικά	*Test method* Μέθοδος ελέγχου	*Limit* Όριο	*Designation ISO -F-* Κατάταξη ISO -F-														
			RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RML 35	RMH 45	RMK 45	RML 45	RMH 55	RML 55
Density at Πυκνότητα σε 15°C, kg/m³ (1)	ISO 3675	max	975	991		991	991		911		–		991	–		991	–
Kinematc viscosity Κινηματικό ιξώδες στους 100°C cSt (2)	ISO 3104	max	10,0			15,0	25,0		35,0				45,0			55,0	
Flash point Σημείο αναφλέξεως, °C	ISO 2719	min	60			60	60		60				60			60	
Pour point (3) Σημείο ροής (3) (upper -άνω), °C *Winter quality* (χειμώνας)	ISO 3016	max	0	24		30	30		30				30			30	
Summer quality (καλοκαίρι)		max	6	24		30	30		30				30			30	
Carbon residue, Υπόλειμμα άνθρακα *Conradson, % (m/m)*	ISO 6615	max	10		14	14	15	20	18	22		–	22		–	22	–
Ash, Τέφρα % (m/m)	ISO 6245	max	0,10			0,10	0,1	0,15	0,15	0,20			0,20			0,20	
Water, Νερό % (V/V)	ISO 3733	max	0,50			0,80	1,0		1,0				1,0			1,0	
Sulphur, Θείο, % (m/m)	See 8 βλ. παρατήρηση 8 στον Π.Α.2	max	3,5			4,0	5,0		5,0				5,0			5,0	
Vanadium, Βανάδιο, mg/kg	See 9 βλ. παρατήρηση 9 στον Π.Α.2	max	150		300	350	200	500	300	600			600			600	

Παρατηρήσεις

(1) *Density in kilograms per litre at 15°C should be multiplied by 1000 before comparison with these values.*
Η πυκνότητα σε κιλά ανά λίτρο στους 15 °C πρέπει να πολλαπλασιάζεται επί 1000, πριν συγκριθεί με τις τιμές αυτές.

(2) 1cSt = 1mm²/s.

(3) *Purchasers should ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially if the vessel is operating in both the northern and southern hemispheres.*
Οι αγοραστές πρέπει να επιβεβαιώνουν ότι το συγκεκριμένο σημείο ροής είναι κατάλληλο για τον εξοπλισμό του πλοίου, ειδικά εάν το πλοίο ταξιδεύει τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο ημισφαίριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.4

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΑΠΟΣΤΑΞΕΩΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL Σύμφωνα με CIMAC 1990

REQUIREMENTS FOR DISTILLATE FUELS FOR DIESEL ENGINES According to CIMAC 1990

Designation **- Κατάταξη**	**CIMAC**	**DX**	**DA**	**DB**	**DC**(1)
Related to, Σύμφωνα με, ISO 8217	F-	DMX	DMA	DMB	DMC
Characteristic *Dim* Χαρακτηριστικό Μονάδες	*Limit* Όριο				
Residual inclusion Περιεκτικότητα υπολείμματος		*None* Καθόλου	*None* Καθόλου	*Some trace* Μικροποσότητα	*Allowed* Επιτρέπεται
Density at 15°C *kg/m^3* Πυκνότητα στους 15°C kg/m^3	max	–	890	900	920
Kinematic viscosity at 40° C cSt(2) Κινηματικό ιξώδες στους 40° C	max min	5,5 1,5	6 1,5	11 2,5	14
Flash point, *°C* Σημείο αναφλέξεως	min	43	60	60	60
Pour point, Σημείο ροής, *°C* *Winter* (χειμώνας) (3) *Summer* (καλοκαίρι)	 max max	 – –	 –6 0	 0 6	 0 6
Cloud point, Σημείο δρόσου °C	max	–16			
Carbon residue Υπόλειμμα άνθρακα *Ramsbottom on 10% res.* *% m/m* *Microcarbon* *% m/m*	 max max	 0,20	 0,020	 0,25	 3,00
Ash, Τέφρα % m/m	max	0,01	0,01	0,01	0,03
Sediment by extraction *% m/m* Ίζημα με απόσταξη	max	–	–	0,02	–
Total sediment *% m/m* Συνολικό ίζημα	max	–	–	–	0,05
Water, Νερό % V/V	max	–	–	0,30	0,30
Cetane number (4) Αριθμός κετανίου	min	45	40	35	35
Visual inspection Οπτικός έλεγχος		*Clear* Καθαρό	*Clear* Καθαρό	*May be black* Μπορεί να είναι μαύρο	
Sulphur, Θείο % m/m	max	1,0	1,5	2,0	2,0
Vanadium, Βανάδιο mg/kg	max				100
Aluminium + silicon mg/kg Αλουμίνιο + Πυρίτιο	max				25

Παρατηρήσεις

(1) *Note that although predominantly consisting of distillate fuel, the residual oil proportion can be significant.* Σημειώνεται ότι, αν και αποτελείται κυρίως από καύσιμο αποστάξεως, το καύσιμο υπολείμματος μπορεί να αποτελεί σημαντικό ποσοστό.

(2) 1 cSt = 1 mm^2/sec.

(3) *Applies to region and season in which fuel is to be stored and used (upper value winter quality, bottom value summer quality).* Εφαρμόζεται για τις περιοχές και τις εποχές, στις οποίες το καύσιμο αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται (ανώτερη τιμή για το χειμώνα, κατώτερη τιμή για το καλοκαίρι).

(4) *Cetane index may be used if no Cetane improvers are applied (not for DC).* Ο αριθμός κετανίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν δεν χρησιμοποιούνται πρόσθετα βελτιώσεως του αριθμού κετανίου (όχι για τον τύπο DC).

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.5
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL
Σύμφωνα με CIMAC: 1990

REQUIREMENTS FOR RESIDUAL FUELS FOR DIESEL ENGINES
According to CIMAC: 1990

Designation **Κατάταξη**		CIMAC A10	CIMAC B10	CIMAC C10	CIMAC D15	CIMAC E25	CIMAC F25	CIMAC G35	CIMAC H35	CIMAC K35	CIMAC H45	CIMAC K45	CIMAC H55	CIMAC K55
Related to ISO 8217 (87): Συσχετιζόμενο με ISO 8217/87	F-	RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RMH 45	RMK 45	RMH 55	–
Characteristic *Dim.* Χαρακτηριστικό Μονάδες	*Limit* Όριο													
Density at 15°C *kg/m³* Πυκνότητα σε 15°C	max	950	975		980	991		991		1010	991	1010	991	1010
Kinematic Viscosity at 100°C *cSt* (1) Κινηματικό ιξώδες στους 100°C	max	10			15	25		35			45		55	
	min (2)	6				15								
Flash point *°C* Σημείο αναφλέξεως	min	60			60	60		60			60		60	
Pour point *°C* Σημείο ροής	max	0 0>6 (3)		24	30	30		30			30		30	
Carbon Residue *%(m/m)* Υπόλειμμα άνθρακα	max	12		14	14	15	20	18	22		22		22	
Ash, Τέφρα % (m/m)	max	0,10			0,10	0,10	0,15	0,15			0,15		0,15	
Total sediment after ageing Συνολικό υπόλειμμα μετά από γήρανση % (m/m)	max	0,10			0,10	0,10		0,10			> 0,10		> 0,10	
Water, Νερό % (V/V)	max	0,50			0,80	1,0		1,0			1,0		1,0	
Sulphur, Θείο % (m/m)	max	3,5			4,0	5,0		5,0			5,0		5,0	
Vanadium, Βανάδιο mg/kg	max	150		300	350	200	500	300	600		600		600	
Aluminium + Silicon *mg/kg* Αλουμίνιο + Πυρίτιο	max	80			80	80		80			80		80	
Ignition properties *mg/kg* Ιδιότητες αναφλέξεως	max													

Παρατηρήσεις

(1) *Approximate equivalent viscosities (for information only):*
Ισοδύναμες προσεγγιστικές τιμές ιξώδους (μόνο πληροφοριακά):

Kinematic viscosity (cSt) at 100 °C	6	10	15	25	35	45	55
Kinematic viscosity (cSt) at 50°C	22	40	80	180	380	500	700
Sec. redwood 1 at 100°F	165	300	600	1500	3500	5000	7000

1 cSt = 1 mm^2/sec

(2) *Recommended value only. May be lower if density is also lower.*
Προτεινόμενη τιμή μόνο. Μπορεί να είναι χαμηλότερη, αν η πυκνότητα είναι χαμηλότερη.

(3) *Applies to region and season in which fuel is to be stored and used. (upper value winter quality, bottom value summer quality).*
Εφαρμόζεται για τις περιοχές και τις εποχές στις οποίες το καύσιμο αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται (Ανώτερη τιμή για το χειμώνα, κατώτερη τιμή για το καλοκαίρι).

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.6
Κύρια χαρακτηριστικά των συνθετικών λιπαντικών.

ΕΙΔΟΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
	Σχέση ιξώδους και θερμοκρασίας	Αντοχή στην οξείδωση	Λιπαντικότητα	Θερμική σταθερότητα	Αντοχή στην υδρόλυση	Πτητικότητα	
Εστέρες διβασικών οξέων	Πολύ καλή	Καλή	Καλή	Καλή	Μέτρια	Χαμηλή	– Λίπανση μηχανών αεριωθουμένων αεροσκαφών. – Υδραυλικά υγρά. – Λίπανση συσκευών και οργάνων. – Γράσσο χαμηλής πτητικότητας.
Εστέρες του φωσφορικού οξέος	Καλή	Πολύ καλή	Πολύ καλή	Μέτρια	Μέτρια	Πολύ χαμηλή	– Παρασκευή γράσσων με χαμηλή πτητικότητα και μεγάλη λιπαντική ικανότητα.
Εστέρες του πυριτικού οξέος	Εξαίρετη	Μέτρια	Μέτρια	Εξαίρετη	Μέτρια	Χαμηλή	– Υγρά μεταφοράς θερμότητας. – Υδραυλικά υγρά για υψηλές θερμοκρασίες.
Σιλικόνες	Εξαίρετη	Εξαίρετη	Μέτρια	Καλή	Εξαίρετη	Πολύ χαμηλή	– Λίπανση συσκευών, που απαιτούν ελάχιστη μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία. – Παρασκευή γράσσων μεγάλης αντοχής σε υψηλά φορτία

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.7
Σχέσεις αριθμών SAE και τιμής ιξώδους σε cSt.

ΑΡΙΘΜΟΣ SAE	ΤΙΜΗ ΙΞΩΔΟΥΣ				ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	cP (max)	Θερμοκρασία (^{o}C)	cSt	Θερμοκρασία (^{o}C)	
0 W	3250	–30	3,8 (min)	100	Λιπαντέλαια
5 W	3500	–25	3,8 (min)	100	ΜΕΚ
10 W	3500	–25	4,1 (min)	100	"
15 W	3500	–15	5,6 (min)	100	"
20 W	4500	–10	5,6 (min)	100	"
25 W	6000	–5	9,3 (min)	100	"
20	-		5,6 - 9,3	100	"
30	-		9,3 - 12,5	100	"
40	-		12,5-	100	"
50	-		16,3	100	"
70 W	-		16,3 -	100	Λιπαντικά
75 W	-		21,9	100	οδοντωτών
80 W	-		4,1 (min)	100	τροχών
85 W	-		4,1 (min)	100	"
90	-		7 (min)	100	"
140	-		11 (min)	100	"
250	-		13,5 -24	100	"
			24 - 41		"
			41 (min)		"

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.8
ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ
Κατάταξη λιπαντικών με βάση την προδιαγραφή ISO 3448.

CLASSIFICATION OF LUBRICANTS
Viscosity Classification for Industrial Grades according to ISO 3448.

Viscosity Class Κατηγορία ιξώδους	*Viscosity Limit* Όρια ιξώδους mm^2/s (cSt)	*Approximate Viscosity (cSt) for a 95 VI mineral oil* Προσεγγιστικό ιξώδες (cSt) για ορυκτέλαιο 95 VI		
ISO	**στους 40°C**	**στους 20°C**	**στους 50°C**	**στους 100°C**
ISO VG 2	1,98 - 2,02	(2,92 - 3,71)	(1,69 - 2,03)	-
ISO VG 3	2,88 - 3,52	(4,58 - 5,83)	(2,39 - 2,86)	-
ISO VG 5	4,14 - 5,05	(7,09 - 9,03)	(3,32 - 3,99)	-
ISO VG 7	6,16 - 7,48	(11,4 - 14,40)	(4,76 - 5,72)	
ISO VG 10	9,0 - 11,0	18,1 - 23,1	6,78 - 8,14	2,46 - 2,80
ISO NG 15	13,5 - 16,5	29,8 - 38,3	9,8 - 11,8	3,17 - 3,58
ISO VG 22	19,8 - 24,2	48,0 - 61,7	13,9 - 16,6	3,99 - 4,50
ISO VG 32	28,8 - 35,2	76,9 - 98,7	19,4 - 23,3	4,97 - 5,6
ISO VG 46	41,4 - 50,6	120 - 153	27,0 - 32,5	6,2 - 7,05
ISO VG 68	61,2 - 74,8	193 - 244	38,7 - 46,6	7,95 - 9,1
ISO VG 100	90,0 - 110,0	303 - 383	55,3 - 66,6	10,3 - 11,8
ISO VG 150	135 - 165	486 - 614	80,6 - 97,1	13,6 - 15,5
ISO VG 220	189 - 242	761 - 964	115 - 138	17,5 - 20,0
ISO VG 320	288 - 352	1180 - 1500	163 - 196	22,3 - 25,5
ISO VG 460	414 - 506	1810 - 2300	228 - 274	28,2 - 32,2
ISO VG 680	612 - 748	2880 - 3650	326 - 393	36,5 - 41,5
ISO VG 1000	900 - 1100	4550 - 5780	466 - 560	46,6 - 52,9
ISO VG 1500	1350 - 1650	7390 - 9400	676 - 812	60,0 - 68,0

In brackets: approximate viscosities by extrapolation.
Στις παρενθέσεις: προσεγγιστικά ιξώδη με χρήση προεκβολής.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.9
Κατάταξη λιπαντικών στροφαλοθαλάμου με βάση το ιξώδες κατά SAE.

SAE Viscosity Classification for Crankcase Oil.

	5w	**10w**	**15w**	**20w**	**20**	**30**	**40**	**50**
Vis.@40^{o}C Min. cSt Max. cSt	<			Καμία προδιαγραφή				>
Vis.@100^{o}C Min. cSt Max. cSt	3,8 <	4,1 Καμία προδιαγραφή	5,6 Καμία προδιαγραφή	5,6 >	5,6 <9,3	9,3 <12,5	12,5 <16,3	16,3 <21,9
Μέγιστη θερ- μοκρασία (^{o}C) για δυναμικό ιξώδες 150.000 cP	<			Καμία προδιαγραφή	Καμία προδιαγραφή			>
Vis. @ –18^{o}C Max. cP	1250	2500	5000	10000	<	Καμία προδιαγραφή	Καμιά προδιαγραφή	>

	75w	**80w**	**85w**	**90**	**140**
Vis.@40^{o}C Min. cSt Max. cSt	<		Απουσία προδιαγραφής	Απουσία προδιαγραφής	>
Vis.@100^{o}C Min. cSt Max. cSt	4,1 <	7,0 Απουσία προδιαγραφής	11,0 >	13,5 <24	24 <41
Μέγιστη θερ- μοκρασία (^{o}C) για δυναμικό ιξώδες 150.000 cP.	–40	–26	–12	Απουσία προδιαγραφής	Απουσία προδιαγραφής
Vis. @ -18^{o}C Max. cP	<		Απουσία προδιαγραφής		>

- *Dynamic viscosity in cPoise. To obtain kin. viscosity in cSt divide by density at 18^{o} C.*
- Δυναμικό ιξώδες σε cPoise. Για να προκύψει το κινηματικό ιξώδες σε cSt, πρέπει να διαιρεθεί με την πυκνότητα στους 18^{o} C.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.10
Τυποποίηση λιπαντικών κατά AGMA.

AGMA Lubricant No.

	1	2	3	4	5	6	7
Vis.@40°C Min. cSt Max. cSt	< 36,1 44,1	53,5 65,1	78,3 95,7	Απουσία προδιαγραφής 117,4 143,6	172,3 210,5	250,5 306,1	> 360 440
Vis.@100°C Min. SUS Max. SUS	193 235	284 347	417 510	626 765	918 1122	1335 1632	1919 2346
Vis.@100°C Min. SUS Max. SUS	< 5,7	7,3 8,3	9,4 10,7	Απουσία προδιαγραφής 12,3 14,1	15,9 18,2	20,4 23,3	25,9 29,5

ΠΙΑΝΑΚΑΣ Π.Α.11
Σημείο αναφλέξεως κοινών λιπαντικών.

Είδος λιπαντικού	Σημείο αναφλέξεως σε °C	
	SAE 10W	SAE 50
Ναυθενικής βάσεως	160 - 205	200 - 230
Παραφινικής βάσεως	190 - 230	230 - 265

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.12
Σύγκριση βασικών ιδιοτήτων ορυκτελαίων μηχανών Diesel.

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ	
	Λάδια κυκλοφορίας	Κυλινδρέλαια
1) Ειδικό βάρος	0,885 - 0,881	0,943 - 0,948
2) Σημείο αναφλέξεως	430 - 460 °F (221 - 238°C)	500 - 510 °F (260 - 265 °C)
3) Σημείο ροής	5 °F (–20°C)	0 - 10 °F (–18 έως –12 °C)
4) Ιξώδες		
α) SSU (100 °F)	620 - 630	700 - 1100
SSU (210 °F)	67 - 68	66 - 90
β) cSt (100 °F)	133 - 135	150 - 235
cSt (100 °F)	12 - 13	12 - 18
5) Δείκτης ιξώδους (V.I.)	88 - 98	73 - 85
6) Ολικός αριθμός βάσεων (TBN)	4 - 10	54 - 70

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.13
Προδιαγραφή λιπαντελαίων ΜΕΚ.
MIL - L - 2104 C

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ASTM	SAE 10	SAE 30	SAE 40	SAE 50
Κινηματικό ιξώδες σε 100^{o}C (cSt)	D 445				
α) Ελάχιστη τιμή		5,7	9,6	12,9	16,8
β) Μέγιστη τιμή		7,5	12,9	16,8	22,7
Φαινόμενο ιξώδες σε 100^{o}C (cP)	D 2602				
α) Ελάχιστη τιμή		1200	–	–	–
β) Μέγιστη τιμή		2400	–	–	–
Δείκτης ιξώδους (min)	D 2270	–	75	80	85
Σημείο ροής ^{o}F (max)	D 97	–25	0	5	15
Σημείο αναφλέξεως ^{o}F (max)	D 92	400	425	435	450

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.14
Προδιαγραφή λιπαντελαίων ΜΕΚ.
MIL - L - 46152 B

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ASTM	SAE				
		10W	30	SW-20	10W-30	15W-40
Κινηματικό ιξώδες σε 100^{o}C (cSt)	D445				9,3	
α) Ελάχιστη τιμή		5,6	9,3	5,6	12,5	12,5
β) Μέγιστη τιμή		7,4	12,5	9,3		16,3
Φαινόμενο ιξώδες σε 0 ^{o}C (cP)	D2602					
α) Ελάχιστη τιμή		3500 σε –25^{o}C	–	3250 σε –30^{o}C	3500 σε –25^{o}C	3500 σε –20^{o}C
β) Μέγιστη τιμή		3500 σε –25^{o}C	–	3250 σε –30^{o}C	3500 σε –25^{o}C	3500 σε –15^{o}C
Όρια αντλητικότητας ^{o}C(max)	D3829	–25	–	–30	–25	–20
Δείκτης ιξώδους (min)	D2270	αναφέρεται	75	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται
Σημείο ροής ^{o}F (max)	D97	–32	–18	–40	–32	–23
Σημείο αναφλέξεως ^{o}F (max)	D92	205	200	205	205	215
Περιεκτικότητα σε φωσφόρο % κ.β. (max)	D1091	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.15
Προδιαγραφή βαλβολίνων.
MIL - L - 2101 C

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ASTM	SAE		
		75W	80W-90	85W-140
Κινηματικό ιξώδες σε 100^oC (cSt) α) Ελάχιστη τιμή β) Μέγιστη τιμή	D445	 4,1 –	 13,5 24	 24 41
Θερμοκρασία στην οποία το φαινόμενο ιξώδες αποκτά τιμή 150.000 σε cP (max)	D2983	–40^oC	–26^oC	–12^oC
Σημείο αναφλέξεως ^oF (max)	D92	150	165	180
Δείκτης ιξώδους	D2270	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται
Αδιάλυτα σε πεντάνιο	D893	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται
Ειδικό βάρος API	D287	αναφέρεται	αναφέρεται	αναφέρεται

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.16
Προδιαγραφές τουρμπινελαίων (ενδεικτικές τιμές).

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ	ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ
Εμφάνιση	διαυγής	Περιεχόμενο νερό (max)	0,1%
Αντίδραση	ουδέτερη	Σημείο αναφλέξεως (min)	180 ^{o}C
Αριθμός εξουδετερώσεως (max)	0,20	Σημείο ροής (max)	–5 ^{o}C
Διάβρωση με παρουσία θαλασσινού νερού	αρνητική	Ιξώδες σε 130 ^{o}F, SSU	180 - 210
Χρόνος για πλήρη απογαλάκτωση (max)	30 min	Ιξώδες σε cSt	38 - 45
Συντελεστής αντοχής	0,9	Δοκιμή οξειδώσεως. Ελάχιστος χρόνος για αύξηση του αριθμού εξουδετερώσεως μέχρι 2 mg/g	1000 ώρες

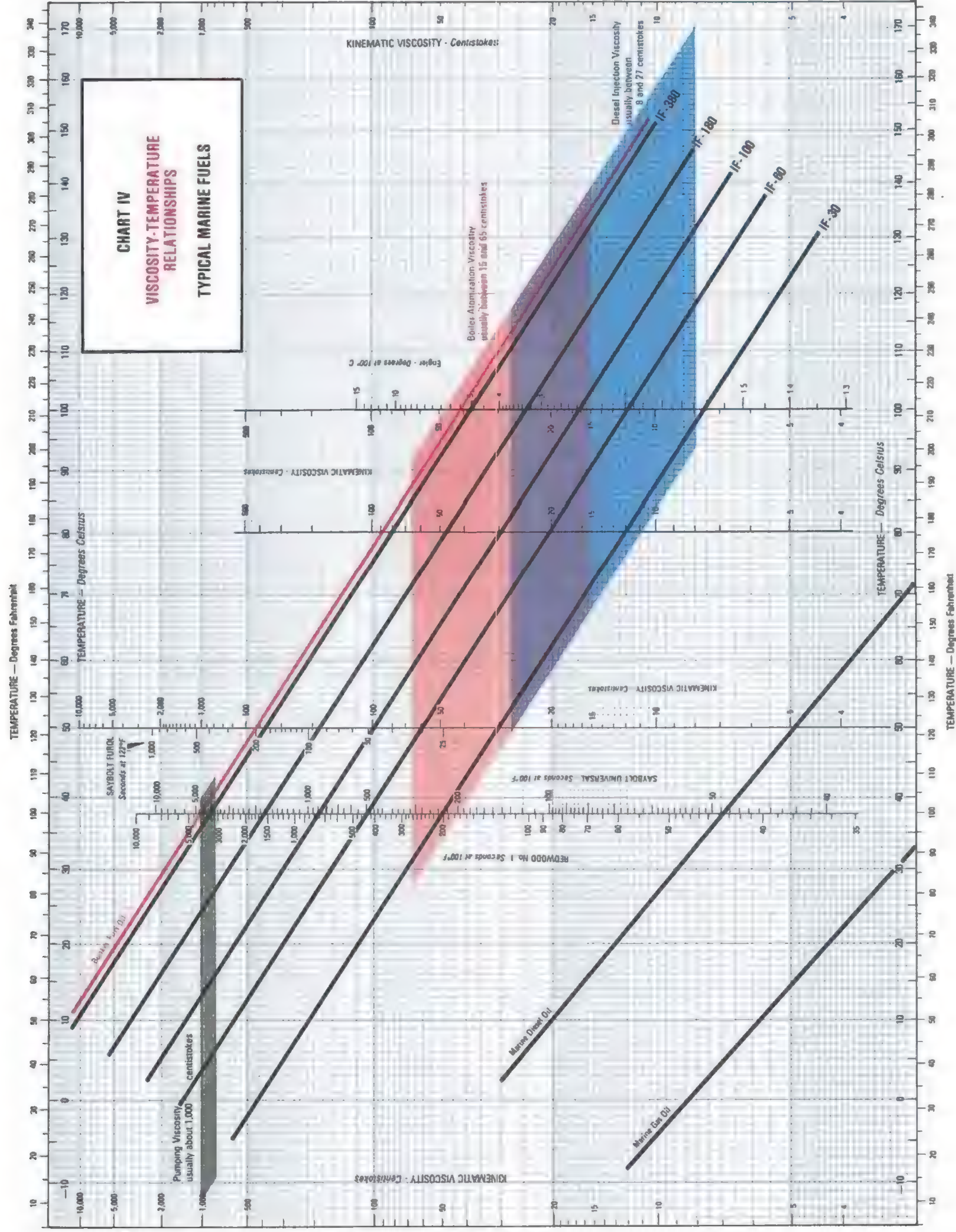
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ
Αριθμός εξουδετερώσεως (max)	0,30	ASTM D 974
Διάβρωση με παρουσία θαλασσινού νερού	αρνητική	ASTM D 665
Δοκιμή διαβρώσεως με ταινία χαλκού (max)	1,0	ASTM D 130
Συντελεστής αντοχής (work factor) (max)	0,9	FS 791, μέθοδος 3452
Νερό (max)	0	ASTM D 95
Σημείο αναφλέξεως (min)	350 ^{o}F	ASTM D 92
Σημείο ροής	30 ^{o}F	ASTM D 97
Ιξώδες: α) σε 100 ^{o}F (cSt) (38 ^{o}C) β) σε 210 ^{o}F (cSt) (100 ^{o}C)	82 - 110 8,2 (min)	ASTM D 445
Απογαλάκτωση σε130 ^{o}F (max)	30 min	ASTM D 1401
Αντοχή σε οξείδωση (min)	1000 ώρες	ASTM D 943
Δοκιμή φθοράς (wear test) Μέγιστη διάμετρος γραμμώσεων	0,45 mm	F.S.791
Αντοχή σε φορτίο (Load carrying capacity) (min)	2200 PSI (150 bar)	F.S.791

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Α.17
Κατάξη λιπαντικών γράσσων κατά NLGI.

NLGI No.	Διείσδυση στους 25 ^{o}C σε δέκατα του χιλιοστού κατά ASTM	**NLGI No.**	Διείσδυση στους 25 ^{o}C σε δέκατα του χιλιοστού κατά ASTM
000	445 έως 475	3	220 έως 250
00	400 έως 430	4	175 έως 205
0	355 έως 385	5	130 έως 160
1	310 έως 340	6	85 έως 115
2	265 έως 295		

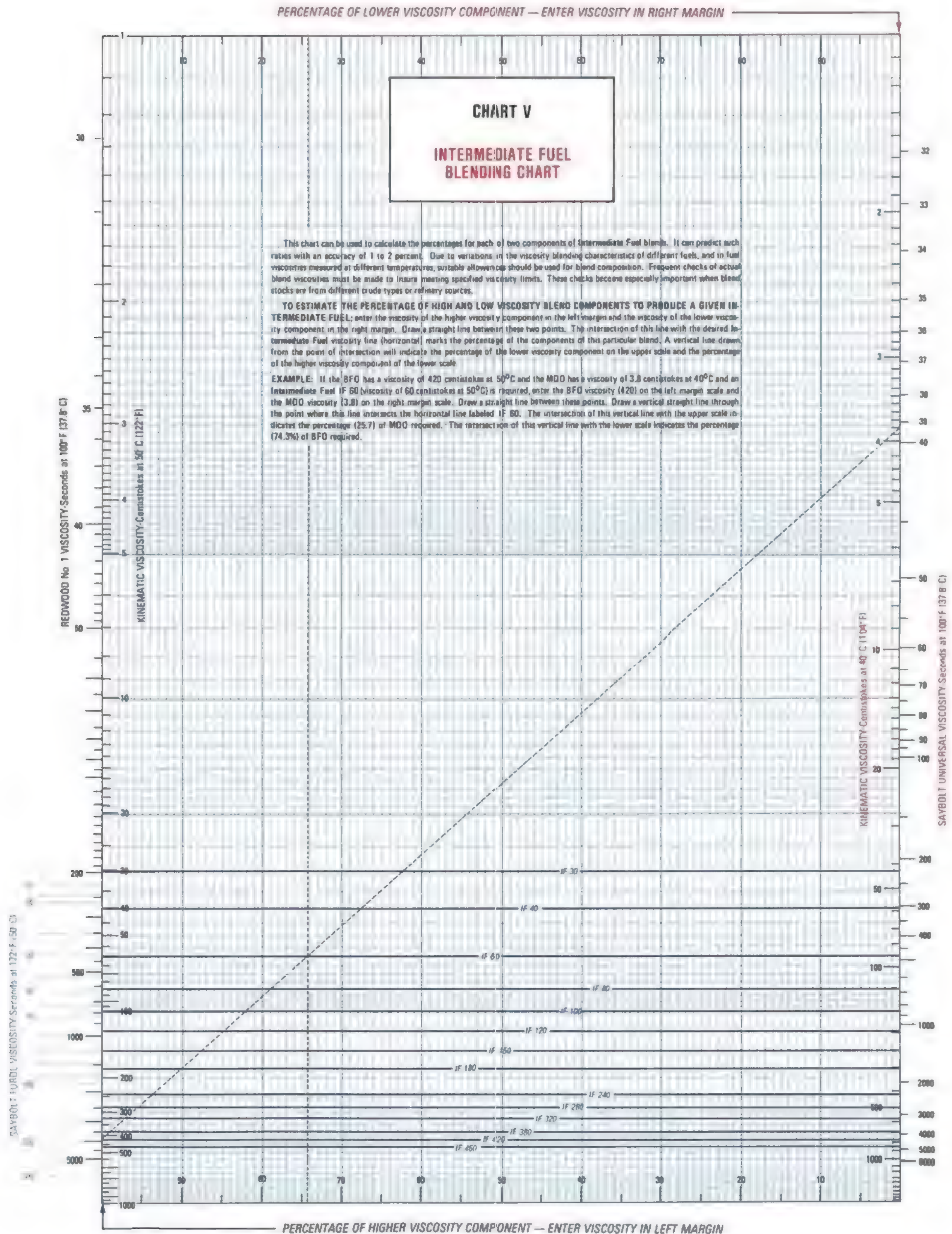
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1

Μεταβολή του κινηματικού ιξώδους με τη θερμοκρασία για τυπικά ναυτικά καύσιμα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2

Διάγραμμα υπολογισμού του κινηματικού ιξώδους μείγματος δύο καυσίμων με διαφορετικά ιξώδη.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3

Μεταβολή του κινηματικού ιξώδους με τη θερμοκρασία για ενδεικτικούς τύπους λιπαντικών ναυτικών πετρελαιομηχανών.

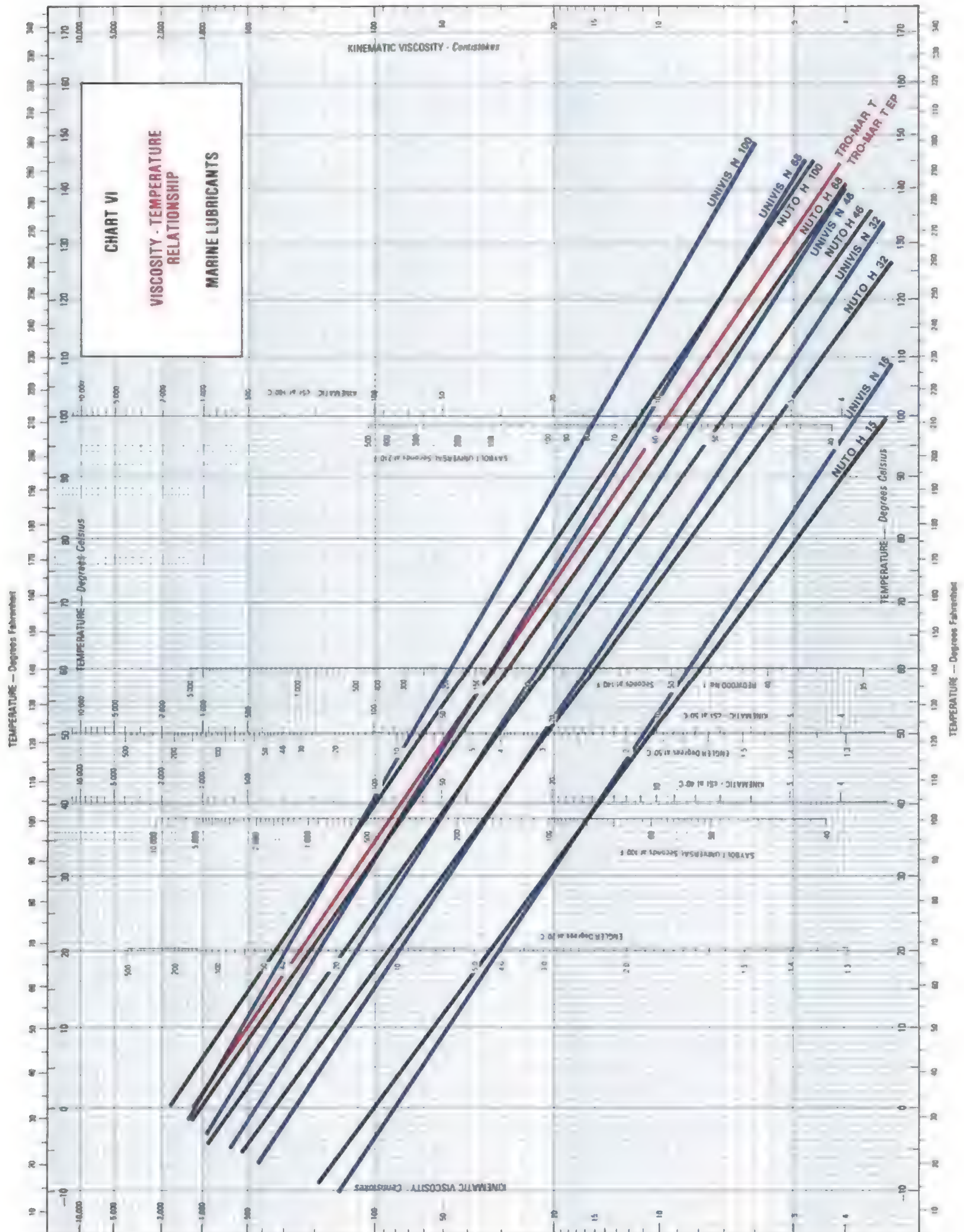


CHART VI

VISCOSITY - TEMPERATURE RELATIONSHIP

MARINE LUBRICANTS

TEMPERATURE — Degrees Fahrenheit

TEMPERATURE — Degrees Celsius

KINEMATIC VISCOSITY - Centistokes

ENGLER Degrees at 20°C

SAYBOLT UNIVERSAL Seconds at 100°F

KINEMATIC - cSt at 40°C

ENGLER Degrees at 50°C

KINEMATIC - cSt at 50°C

REDWOOD No 1 Seconds at 140°F

SAYBOLT UNIVERSAL Seconds at 210°F

KINEMATIC - cSt at 100°C

EXXMAR X90

EXXMAR X60
EXXMAR X70

EXXMAR 12TP 50

SAE 50

EXXMAR 12TP 40
EXXMAR 24TP 40
EXXMAR 30TP 40
EXXMAR 40TP 40

SAE 40

EXXMAR XP
EXXMAR XA
EXXMAR 12TP 30
EXXMAR 24TP 30
EXXMAR 30TP 30
EXXMAR 40TP 30

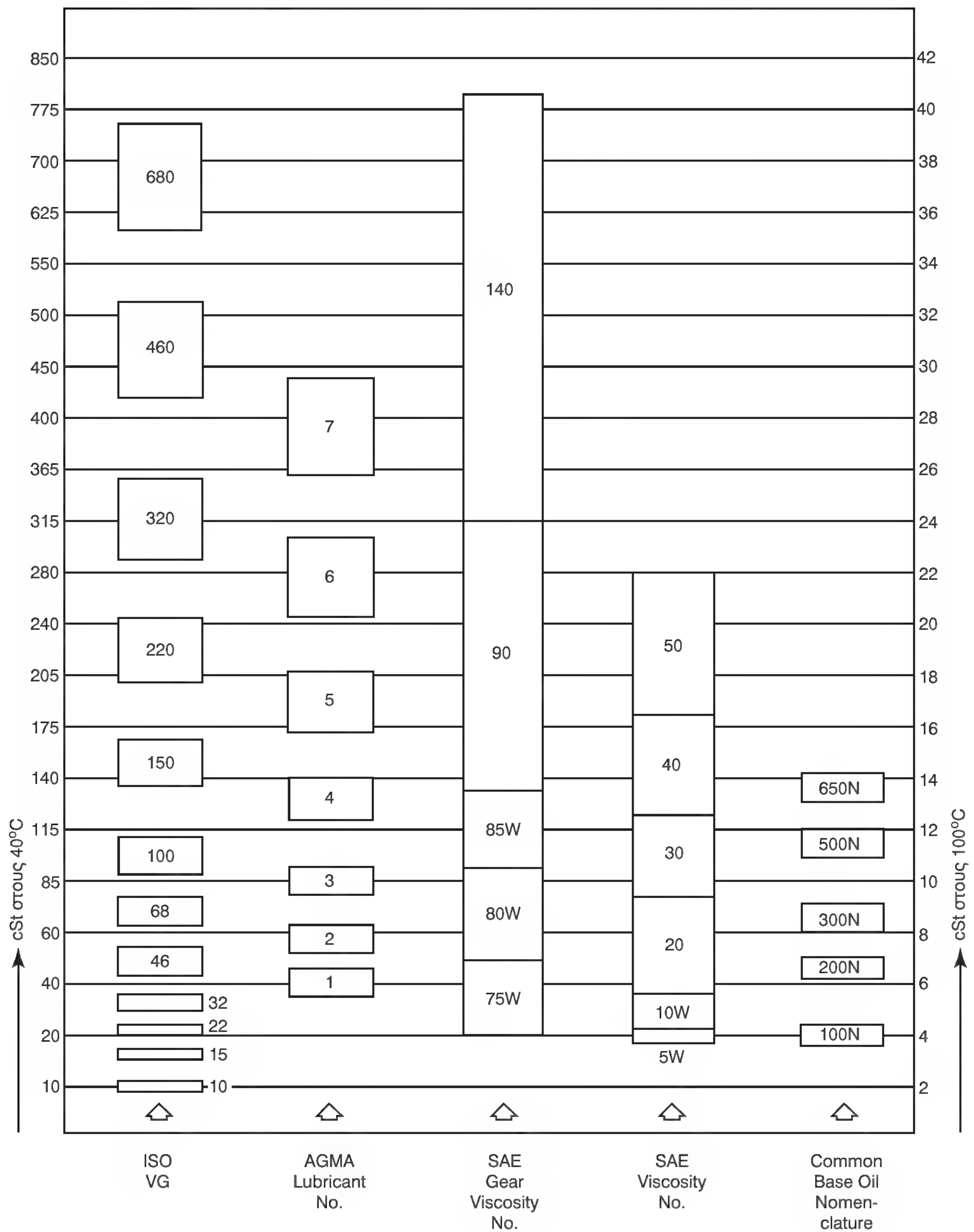
SAE 30

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4
Μεταβολή του κινηματικού ιξώδους με τη θερμοκρασία για ενδεικτικούς τύπους λιπαντικών ναυτικών πετρελαιομηχανών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5

Συγκριτική κατάταξη λιπαντικών και βασικών λαδιών με βάση το ιξώδες τους.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Π.Β.1 Νερό.

Π.Β.1.1 Γενικά.

Το νερό υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως είναι ουσία άχρωμη, άοσμη, άγευστη και υγρή. Στην αρχαιότητα θεωρούνταν στοιχείο, αλλά αργότερα ανακαλύφθηκε ότι είναι χημική ένωση υδρογόνου και οξυγόνου.

Π.Β.1.2 Φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού.

Το νερό σχηματίζεται από την ένωση δύο ατόμων υδρογόνου προς ένα άτομο οξυγόνου και ο χημικός τύπος του μορίου του είναι H_2O.

Το νερό είναι υγρό διάφανο (σε μικρό πάχος στρώματος), και άχρωμο, προσλαμβάνει ωστόσο κυανοπράσινη απόχρωση σε παχέα στρώματα.

Το νερό χαρακτηρίζεται από πολλές ανωμαλίες στις φυσικές του ιδιότητες. Ιδιαίτερα αξιοσημείωτη είναι η μεγιστοποίηση της πυκνότητάς του στους ***4ºC***, όπου ισούται πρακτικά με ***1000 kg/m³***.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού είναι ιδιαίτερα υψηλή, εμφανίζει την ελάχιστη τιμή της περίπου στους 35ºC, ενώ η τιμή της μεταξύ 14,5ºC και 15,5ºC χρησίμευσε για τον ορισμό της θερμίδας. Η μεγάλη τιμή της ειδικής θερμοχωρητικότητας δείχνει ότι απαιτούνται σημαντικά ποσά θερμότητας για την άνοδο της θερμοκρασίας του κατά 1 βαθμό. Η υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού το καθιστά ιδανικό υλικό για αποθήκευση ενέργειας, ή ως εργαζόμενο μέσο στους εναλλάκτες θερμότητας. Έτσι, λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας του νερού, η θερμοκρασία της θάλασσας μεταβάλλεται ελάχιστα με την αλλαγή των εποχών και των γεωγραφικών πλατών.

Το νερό διαλύει μεγάλο πλήθος στερεών, υγρών ή αερίων ουσιών. Κατά γενικό κανόνα, η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού συνεπάγεται αύξηση της διαλυτότητας των στερεών και ελάττωση της διαλυτότητας των αερίων.

Το νερό μετατρέπεται εύκολα από την υγρή στην αέρια ή στερεή κατάσταση, στερεοποιείται στους 0ºC (σημείο πήξεως) και βράζει στους 100ºC (σημείο βρασμού) σε κανονικές συνθήκες ατμοσφαιρικής πιέσεως (760 mm Hg).

Ο ατμός του νερού (υδρατμός) είναι άχρωμο αέριο, με πυκνότητα περίπου ίση με τα 5/8 της πυκνότητας του αέρα. Το στερεό νερό ή πάγος αποτελείται από εξαγωνικούς κρυστάλλους. Ο όγκος του νερού αυξάνεται κατά την πήξη, γι' αυτό η πυκνότητα του πάγου είναι 920 kg/m³. Υπό συνθήκες υψηλών πιέσεων, έχουν ανακαλυφθεί πολλές άλλες μορφές πάγου, πυκνότερες από το νερό. Στον πίνακα Π.Β.1 δίδονται συγκεντρωτικά οι κυριότερες από τις φυσικές ιδιότητες του νερού.

Όπως συμβαίνει με την ειδική θερμοχωρητικότητα, ιδιαίτερα υψηλές είναι και οι λανθάνουσες θερμότητες τήξεως και εξατμίσεως του νερού. Έτσι η μεγάλη ποσότητα του νερού, που καλύπτει την επιφάνεια της γης ελαχιστοποιεί τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές στην επιφάνεια του πλανήτη.

Το ελεύθερο και μεμονωμένο μόριο του νερού είναι τριγωνικό και σχηματίζεται από ένα άτομο οξυγόνου, το οποίο συνδέεται με δύο άτομα υδρογόνου. Η γωνία των δύο δεσμών ισούται με 104,5º και η απόσταση του δεσμού Ο - Η ανέρχεται σε 0,96 Å. Το μόριο του νερού, λόγω του τριγωνικού σχήματός του, είναι ισχυρά πολωμένο (λειτουργεί δηλαδή ως δίπολο, θετικά φορτισμένο από τη μία πλευρά και αρνητικά από την άλλη). Η πολικότητα αυτή του νερού, του επιτρέπει να αντιδρά εύκολα με πλήθος ουσιών. Το νερό είναι πολωμένος διαλύτης με υψηλή διηλεκτρική σταθερά. Είναι καλός διαλύτης των ηλεκτρολυτών και των χημικών ενώσεων με δεσμό υδρογόνου (αιθανόλη) και κακός διαλύτης των μη πολικών ενώσεων, όπως είναι οι υδρογονάνθρακες.

Το νερό συντίθεται από τα συστατικά του στοιχεία με έντονη έκλυση θερμότητας (εξώθερμη αντίδραση καύσεως του υδρογόνου) και είναι σταθερή ένωση. Η αποσύνθεση του ατμού του δεν αρχίζει να εκδηλώνεται πριν από τους 1300ºC περίπου. Μπορεί ωστόσο, να αποσυντεθεί από υλικά με υψηλή χημική συγγένεια προς το ένα ή το άλλο συστατικό του. Το φθόριο, το χλώριο ή το βρώμιο μπορούν να δεσμεύσουν το υδρογόνο και να ελευθερώσουν το οξυγόνο. Αυτό εξηγεί τον οξειδωτικό χαρακτήρα του χλωριωμένου νερού. Αντίθετα, ο φωσφόρος, ο άνθρακας και το πυρίτιο ενώνονται

με το οξυγόνο και ελευθερώνουν το υδρογόνο. Με την εξαναγκασμένη διέλευση ρεύματος υδρατμού μέσα από ερυθροπυρωμένο κοκ, επιτυγχάνεται η παραγωγή του υγραερίου, καυσίμου μείγματος, που αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα.

Τα υπόγεια νερά επιδρούν στα πετρώματα, διαλύοντας ορισμένα ευδιάλυτα συστατικά τους και εμπλουτίζονται σε μέταλλα. Περιέχουν κυρίως ιόντα ασβεστίου.

Π.Β.1.3 Σκληρότητα του νερού.

Ως σκληρότητα του νερού ορίζεται η αθροιστική περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα αλκαλικών γαιών, κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου. Το ασβέστιο και το μαγνήσιο περιέχονται στο νερό, κυρίως με τη μορφή διτανθρακικών χλωριούχων και θειικών αλάτων. Επίσης, είναι δυνατόν να υπάρχουν άλατα δισθενούς σιδήρου, τα οποία οξειδούμενα στην τρισθενή μορφή τους, απαντούν ως ερυθρόφαια στίγματα σε πλυμένα υφάσματα και εφυαλωμένες επιφάνειες.

Η οφειλόμενη στο διτανθρακικό ασβέστιο σκληρότητα, χαρακτηρίζεται προσωρινή, επειδή ο βρασμός μετατρέπει το διτανθρακικό ασβέστιο σε αδιάλυτο ανθρακικό. Η οφειλόμενη στα λοιπά άλατα σκληρότητα χαρακτηρίζεται αντίστοιχα μόνιμη. Τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου που περιέχονται στο σκληρό νερό, αντιδρούν με τα ανώτερα λιπαρά οξέα του σαπουνιού, σχηματίζοντας αδιάλυτο ζελα-

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Β.1
Φυσικές ιδιότητες του νερού.

Τριπλό σημείο (πάγος, νερό, ατμός)	0,0753°C σε 4,58 torr
Κρίσιμο σημείο	374,1°C σε 218,4 atm
Πυκνότητα (kg/lit) Πάγου σε 0°C Υγρού σε 0°C Υγρού σε 4°C	 0,9165902 0,999868 1,000000
Συμπιεστότητα	$4{,}51 \times 10^{-5}$ atm^{-1}
Μέσος συντελεστής διαστολής	$2{,}57 \times 10^{-4}$ K^{-1}
Ενθαλπίες μεταβολής καταστάσεως (kcal/mol) Τήξεως ΔHm Εξατμίσεως ΔHk	 1436 9719
Κινηματικό ιξώδες σε 20°C	10^{-6} m^2/s
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	5,85 W / (mK)
Συντελεστής ηλεκτρικής αγωγιμότητας	$0{,}036 \times 10^{-4}$ Ω^{-1} m^{-1}
Επιφανειακή τάση	0,072 Nm^{-1}
Δείκτης διαθλάσεως	$n^{20} = 1{,}33300$
Διηλεκτρική σταθερά σε 0°C Διηλεκτρική σταθερά σε 100°C	88,5 55,9
Θερμότητα σχηματισμού σε 25°C	–56,69 kcal/mol
Σταθερά του γινομένου των συγκεντρώσεων των ιόντων σε 25°C	10^{-14}

τινώδες πήκτωμα, με συνέπεια τη σπατάλη σαπουνιού. Η ενοχλητική αυτή αντίδραση αποτρέπεται με τα σύγχρονα απορρυπαντικά.

Στους λέβητες, το ασβέστιο και το μαγνήσιο που περιέχονται στο νερό σχηματίζουν σκληρό συνεκτικό επίστρωμα λεβητολίθου (καθαλάτωση) πάνω στα ελάσματα ή τους υδραυλούς. Η κακή θερμική αγωγιμότητα του λεβητολίθου, προκαλεί μείωση της αποδόσεως του λέβητα και ταχεία φθορά του, λόγω της εξωτερικής υπερθερμάνσεως των ελασμάτων και των αυλών.

Αν το νερό περιέχει και ανθρακικό νάτριο, αυ-τό υδρολύεται, ελευθερώνοντας αλκαλικά ιόντα που προκαλούν καυστική ψαθυροποίηση και καταστροφή των ελασμάτων του λέβητα. Το νερό μπορεί να αποσκληρυνθεί σε μικρή κλίμακα με την προσθήκη αμμωνίας, βόρακα, ή τριβασικού φωσφορικού νατρίου μαζί με ανθρακικό νάτριο (σόδα εμπορίου), το οποίο προκαλεί καθίζηση του ασβεστίου ως ανθρακικού άλατος και του μαγνησίου ως υδροξειδίου.

Η αποσκλήρυνση μεγάλων ποσοτήτων νερού επιτυγχάνεται με την προσθήκη ασβεστίου, σε ποσότητα που μόλις επαρκεί για την καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου και του υδροξειδίου του μαγνησίου. Τα υπολειπόμενα άλατα ασβεστίου αφαιρούνται με προσθήκη ανθρακικού νατρίου. Σε περιοχές, όπου το νερό είναι σκληρό, χρησιμοποιούνται οικιακές συσκευές αποσκληρύνσεως που εκμεταλλεύονται τις ιοντοεναλλακτικές ιδιότητες των φυσικών ή συνθετικών ζεολίθων.

Η σκληρότητα του νερού μετριέται σε βαθμούς που σχηματίζουν την ποσοστιαία κατά βάρος περιεκτικότητα συγκεκριμένων ουσιών.

Ο ***γερμανικός βαθμός σκληρότητας*** (^{o}d) αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα 10 γραμμαρίων CaO ή 7,14 γραμμαρίων μαγνησίας (MgO) σε 1.000 λίτρα νερού.

Ο ***γαλλικός βαθμός σκληρότητας*** αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα σε 10 γραμμάρια ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) σε 1.000 λίτρα νερού.

Ο ***αγγλικός βαθμός σκληρότητας*** αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα σε 10 γραμμάρια ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) σε 700 λίτρα νερού (1^{o}d = 1,25 αγγλικού = 1,79 γαλλικού βαθμού σκληρότητας).

Ο ***αμερικανικός βαθμός σκληρότητας*** αντιστοιχεί σε 1 γραμμάριο ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) σε 1.000 λίτρα νερού, δηλαδή 1 ppm.

Σήμερα, αντί των ανωτέρω αυθαιρέτων μονάδων, χρησιμοποιείται η χημική μονάδα μετρήσεως της σκληρότητας, ίση προς 1 mmol/lit (χιλιοστογραμμομόριο ανά λίτρο) = 2,8^{o}d. Μαλακό χαρακτηρίζεται το νερό με σκληρότητα το πολύ 6 - 8^{o}d, ενώ νερό 8 - 12^{o}d χαρακτηρίζεται μέσης σκληρότητας. Για μεγαλύτερες τιμές χαρακτηρίζεται ως σκληρό.

Π.Β.1.4 Αποσκλήρυνση του νερού.

Αποσκλήρυνση είναι η απομάκρυνση των αλάτων του ασβεστίου, του μαγνησίου και του σιδήρου από το σκληρό νερό και η μετατροπή του σε μαλακό νερό, με κατακρήμνιση των αλάτων ή με ιονανταλλαγή. Το μαλακό νερό δεν σχηματίζει αδιάλυτα άλατα (πουρί) στους σωλήνες, στους περιχιτώνιους χώρους, στους αυλούς των λεβήτων και των εναλλακτών θερμότητας, καθώς και στις δεξαμενές νερού. Δεν σχηματίζει επίσης, ιζήματα με τα σαπούνια.

Οι συσκευές αποσκληρύνσεως του νερού αποτελούνται συνήθως από μια ποσότητα ζεολίθου ή ιονανταλλακτικής ρητίνης, κλεισμένης σε ένα δοχείο, που συνδέεται απευθείας με το κεντρικό δίκτυο παροχής νερού. Ο ζεόλιθος ή η ρητίνη περιέχουν ιόντα νατρίου, που αντικαθίστανται από τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου, τα οποία περιέχονται διαλυμένα στο σκληρό νερό.

Όταν ο ζεόλιθος ή η ρητίνη κορεσθούν (όταν δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος του ανταλλάξιμου νατρίου τους αντικατασταθεί με ασβέστιο και μαγνήσιο) μπορούν να αναγεννηθούν με τη βοήθεια πυκνού διαλύματος κοινού αλατιού, που απομακρύνει το ασβέστιο και το μαγνήσιο και τα αντικαθιστά ξανά με νάτριο.

Το νερό που χρησιμοποιείται στις ΜΕΚ και στους λέβητες πρέπει υποχρεωτικά να διέρχεται από τις συσκευές αποσκληρύνσεως και να υπόκειται στη διαδικασία της ιονανταλλαγής.

Π.Β.1.5 Χαρακτηριστικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού.

Το θαλασσινό νερό περιέχει διαλυμένες οργανικές και ανόργανες ουσίες, καθώς και αέρια. Εκτός από τις διαλυμένες ουσίες, περιέχει επίσης και μεγάλες ποσότητες αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης. Η ύλη αυτή, τόσο οργανική όσο και ανόργανη, μπορεί να επηρεάσει ορισμένες ιδιότητες του νερού.

α) Διαλυμένες ανόργανες ουσίες.

Ο πίνακας Π.Β.2 παρουσιάζει τα κύρια ανόργανα συστατικά του θαλασσινού νερού, εκτός από τα αέρια. Τα συστατικά αυτά δεν απαντούν ως χημικές ενώσεις αλλά ως ιόντα, δηλαδή ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, λόγω της ηλεκτρολυτικής δρά-

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Β.2
Κύρια ανόργανα συστατικά του θαλασσινού νερού για 19°/οο χλωριότητα.

Συστατικά	**g/kg θαλασσινού νερού**	**Αναλογία σε σχέση με το ολικό περιεχόμενο άλας (ποσοστό %)**
Χλώριο (Cl^-)	18,980	55,044
Θειικά (SO_4^{2-})	2,649	7,682
Δισανθρακικά (HCO_3^-)	0,140	0,406
Βρώμιο (Br)	0,065	0,189
Φθόριο (F^-)	0,001	0,003
Βορικό οξύ (H_3BO_3)	0,026	0,075
Νάτριο (Na^+)	10,556	30,613
Μαγνήσιο (Mg^{2+})	1,272	3,689
Ασβέστιο (Ca^{2+})	0,400	1,160
Κάλιο (K^+)	0,380	1,102
Στρόντιο (Sr^{2+})	0,013	0,038
ΣΥΝΟΛΟ	**34,482**	100,000
Νερό (με ιχνοστοιχεία)	965,518	
ΣΥΝΟΛΟ	**1.000,000**	

σεως του νερού. Στην τελευταία στήλη του πίνακα δίνεται το ποσοστό συμμετοχής των συστατικών στο σύνολο των ανοργάνων ουσιών που είναι διαλυμένες στο θαλασσινό νερό.

Κυριαρχούν τα ιόντα νατρίου ($Nα^+$) και χλωρίου (Cl^-), που αντιπροσωπεύουν πάνω από το 85% του συνολικού βάρους των διαλυμένων αλάτων. Αν και η συνολική ποσότητα των διαλυμένων ουσιών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εποχή και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, οι σχετικές αναλογίες των συστατικών διατηρούνται σε σημαντικό βαθμό σταθερές.

Η συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων είναι δυνατόν να υφίσταται διακυμάνσεις, επειδή το θαλασσινό νερό δέχεται κατά τόπους ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα με τη μορφή βροχής και χιονιού, νερά ποταμών ή νερό από την τήξη των παγόβουνων.

Η μεσαία στήλη του πίνακα δείχνει τις ποσότητες των διαφόρων συστατικών σε σχέση με την ποσότητα του θαλασσινού νερού (g/kg). Οι τιμές αυτές είναι απλώς ενδεικτικές, μιας και η συνολική ποσότητα των διαλυμένων αλάτων ποικίλλει όπως προαναφέρθηκε.

Σε χημικές αναλύσεις του θαλασσινού νερού έχουν βρεθεί ίχνη ιωδίου και χαλκού. Στη θάλασσα υπάρχουν και ραδιενεργά στοιχεία, αλλά βρίσκονται σε απειροελάχιστες ποσότητες.

Ο όρος αλατότητα (salinity) χρησιμοποιείται από τους ωκεανογράφους για να εκφραστεί η συνολική ποσότητα των διαλυμένων αλάτων σε ένα δείγμα θαλασσινού νερού. Ως αλατότητα ορίζεται η συνολική ποσότητα σε γραμμάρια, των στερεών ουσιών, που είναι διαλυμένες σε ένα χιλιόγραμμο θαλασσινού νερού, όταν θεωρητικά το βρώμιο και το ιώδιο αντικατασταθούν από ίση ποσότητα χλωρίου, τα ανθρακικά μετατραπούν σε οξείδια και όλες οι οργανικές ενώσεις οξειδωθούν πλήρως. Στις περισσότερες περιοχές των ωκεανών η αλατότητα κυμαίνεται από 34‰ έως 37‰.

Επειδή η θάλασσα βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με την ατμόσφαιρα, τα αέρια απαντούν και στο θαλασσινό νερό, σε συγκεντρώσεις που εξαρτώνται από τη διαλυτότητά τους, καθώς και από τις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν.

Οι διαλυτότητες του αζώτου (N_2), του οξυγόνου (O_2) και του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), διαφέρουν σημαντικά. Τα αέρια αυτά υπάρχουν στον αέρα σε κατ' όγκο αναλογίες 70%, 21% και 0,03%, αντίστοιχα, αλλά η μέγιστη συγκέντρωσή τους στο θαλασσινό νερό (όταν η χλωριότητα είναι 19‰, η θερμοκρασία 12^oC και η πίεση 1 atm), είναι 11,1 - 6,2 και 0,3 χιλιοστόλιτρα αερίου ανά λίτρο θαλασσινού νερού αντίστοιχα.

Η τιμή που δόθηκε για το CO_2, περιλαμβάνει και το ανθρακικό οξύ, το οποίο σχηματίζεται από την αντίδρασή του με το νερό. Η διαλυτότητα των αερίων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Το άζωτο έχει μικρή σημασία για τη θαλάσσια ζωή με εξαίρεση ορισμένα βακτήρια που ζουν πάνω ή κοντά στο βυθό και χρησιμοποιούν το άζωτο, για να παρασκευάζουν άλατα του αμμωνίου και νιτρικά άλατα.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι ευδιάλυτο στο θαλασσινό νερό και ενώνεται με αυτό, σχηματίζοντας ανθρακικό οξύ, το οποίο στη συνέχεια διασπάται εν μέρει και δίνει όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) και ανθρακικά (CO_3^{2-}) ιόντα. Το ανθρακικό οξύ αντιδρά με το ασβέστιο και το μαγνήσιο, σχηματίζοντας ανθρακικό και όξινο ανθρακικό ασβέστιο και μαγνήσιο. Όλες αυτές οι αντιδράσεις είναι αμφίδρομες, δηλαδή μπορεί να δράσουν και κατά την αντίθετη κατεύθυνση, ανάλογα με την υπάρχουσα ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, η θάλασσα έχει μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα σχετικά με τις διάφορες διεργασίες στην ατμόσφαιρα και στη θάλασσα όπου συμμετέχει το διοξείδιο του άνθρακα. Σ' αυτές τις διεργασίες ανήκουν και εκείνες που αφορούν στη χλωρίδα και τη φωτοσύνθεση. Ολόκληρο όμως το σύστημα των αντιδράσεων στις οποίες συμμετέχει το διοξείδιο του άνθρακα είναι εξαιρετικά πολύπλοκο.

β) Διαλυμένες οργανικές ουσίες.

Το θαλασσινό νερό περιέχει διάφορες διαλυμένες οργανικές ενώσεις, οι οποίες προέρχονται από την αποσύνθεση των νεκρών οργανισμών, ενώ περιέχει και ζωντανούς μικροοργανισμούς (ζωικό και φυτικό πλαγκτόν). Η συνολική ποσότητα του διαλυμένου οργανικού άνθρακα στον ανοιχτό ωκεανό ποικίλλει από 0,2 έως 2,5 χιλιοστογραμμάρια ανά λίτρο.

γ) Κατανομή της αλατότητας.

Η αλατότητα στις ανοικτές θάλασσες κυμαίνεται μεταξύ 34‰ και 37‰. Γενικά, η αλατότητα είναι μικρότερη στις περιοχές, όπου υπάρχουν πολλές βροχοπτώσεις, σε μέρη όπου υπάρχει εισροή γλυκού νερού από μεγάλους ποταμούς και στους πόλους, λόγω της παρουσίας των πάγων.

Σε περιοχές οι οποίες δέχονται αρκετό γλυκό νερό, ιδιαίτερα αν οι περιοχές αυτές είναι κατά κάποιο τρόπο απομονωμένες από την ανοικτή θάλασσα, οι αλατότητες μπορεί να είναι μικρότερες και από 34‰. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται κυρίως στις παράκτιες λιμνοθάλασσες και σε αβαθείς απομονωμένες περιοχές.

Η αλατότητα είναι μικρότερη από 34‰ σε περιοχές, όπου φθάνει στη θάλασσα γλυκό νερό από την τήξη των πάγων. Το νερό αυτό έχει γενικά μικρότερη περιεκτικότητα σε άλατα από το θαλάσσιο νερό. Ειδικότερα το νερό από τα παγόβουνα δεν περιέχει καθόλου αλάτι. Στον Βοθνιακό κόλπο και στον κόλπο της Φινλανδίας η αλατότητα είναι μόλις 5‰.

Στις ανοικτές θάλασσες, η γενική κατανομή της αλατότητας καθορίζεται από την ανταλλαγή νερού μεταξύ θάλασσας και ατμόσφαιρας, δηλαδή καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και της εξατμίσεως. Η χαμηλότερες αλατότητες παρατηρούνται στα μέσα και στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, καθώς και στην ισημερινή ζώνη, όπου οι βροχοπτώσεις είναι μεγαλύτερες από την εξάτμιση.

Οι υψηλότερες αλατότητες επικρατούν στις υποτροπικές περιοχές, όπου κυριαρχεί η εξάτμιση. Στη θάλασσα των Σαργασσών, στο μέσον του Ατλαντικού Ωκεανού και σε γεωγραφικό πλάτος 25^{o}Β περίπου, η αλατότητα το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από 37‰. Στη Μεσόγειο είναι 38‰, και στην Ερυθρά θάλασσα 41‰.

Οι διαφορές της αλατότητας στα μεγαλύτερα βάθη είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες επιφανειακές και κυμαίνονται από 34,5‰ έως 35‰. Σημαντική εξαίρεση αποτελούν μερικά βυθίσματα της Ερυθράς θάλασσας, όπου η αλατότητα φθάνει το 256‰. Οι τιμές αυτές συνοδεύονται από θερμοκρασίες έως 60^oC.

δ) Κατανομή της θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία των επιφανειακών νερών των ωκεανών και των θαλασσών παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στις διάφορες περιοχές του κόσμου. Μπορεί να είναι –1,9°C στις πολικές θάλασσες και να ανέλθει στους 30°C σε υποτροπικά νερά (θάλασσα της Νότιας Κίνας, Κόλπος του Μεξικού). Στον Περσικό κόλπο μπορεί να φθάσει τους 33°C.

Στις τροπικές θάλασσες και στις πολικές περιοχές, η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας είναι μικρή και κυμαίνεται από 1°C έως 2°C. Οι διακυμάνσεις είναι μεγαλύτερες στην ανοικτή θάλασσα. Μεταξύ 40°Β και 45°Β στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας είναι 8°C έως 9°C περίπου, ενώ στο Βόρειο Ειρηνικό είναι 9 έως 10°C κ.λ.π. Με την αύξηση του βάθους των θαλασσών, μειώνονται οι ετήσιες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

ε) Θερμοδυναμικές ιδιότητες.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του θαλασσινού νερού έχει λίγο μικρότερη τιμή από αυτή του καθαρού νερού, στην ίδια θερμοκρασία. Σε θερμοκρασία 17,5°C η ειδική θερμοχωρητικότητα για το καθαρό νερό είναι 1.000 θερμίδες ανά χιλιόγραμμο σε πίεση μιας ατμόσφαιρας, ενώ για το θαλασσινό νερό είναι 932 θερμίδες ανά χιλιόγραμμο, για αλατότητα 35‰. Η ειδική θερμοχωρητικότητα μειώνεται ελάχιστα με την αύξηση της θερμοκρασίας και της πιέσεως.

Το σημείο πήξεως του θαλασσινού νερού είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο του καθαρού. Για διάφορες τιμές αλατότητας το σημείο πήξεως δίδεται στον πίνακα Π.Β.3

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Β.3
Μεταβολή του σημείου πήξεως του θαλασσινού νερού σε σχέση με την αλατότητα.

Αλατότητα ‰	0	10	20	30	35
Σημείο πήξεως (°C)	0,00	– 0,53	–1,08	–1,63	–1,91

στ) Πυκνότητα του νερού.

Ως πυκνότητα του θαλασσινού νερού ορίζεται η μάζα του ανά μονάδα όγκου, εκφρασμένη σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο. Η πυκνότητα αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της αλατότητας και της πιέσεως, ενώ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η εξάρτηση της πυκνότητας από την αλατότητα δίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα:

Σε θερμοκρασία 0°C και ατμοσφαιρική πίεση, το καθαρό νερό έχει πυκνότητα 999,9 kg/m^3, ενώ το θαλασσινό νερό με αλατότητα 20‰ και 35‰ έχει πυκνότητα 1016,1 και 1028,1 kg/m^3 αντίστοιχα.

Το αποτέλεσμα της πιέσεως στο θαλασσινό νερό δίδεται στον πίνακα Π.Β.4 για θερμοκρασία 0°C και αλατότητα 35‰.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.Β.4
Μεταβολή στην πυκνότητα του θαλασσινού νερού σε συνάρτηση με το βάθος.

Βάθος (m)	0	1	2	10
Πυκνότητα (kg/m^3)	1028	1033	1037,5	1071

Η εξάρτηση της πυκνότητας από τη θερμοκρασία έχει μεγάλη σημασία. Αντίθετα από το καθαρό νερό, το θαλασσινό αποκτά τη μέγιστη πυκνότητά του, όχι στους 4°C, αλλά σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα του θαλασσινού νερού, τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία, στην οποία η πυκνότητα γίνεται μέγιστη.

Με αλατότητα 24,7‰, το θαλασσινό νερό, με τη μείωση της θερμοκρασίας μέχρι να φθάσει στο σημείο πήξεως γίνεται ολοένα πυκνότερο (βαρύτερο). Αυτό το γεγονός έχει ιδιαίτερη σημασία, αν συνδυαστεί με την ψύξη των επιφανειακών στρωμάτων του θαλασσινού νερού. Όταν η θάλασσα ψύχεται από πάνω και επομένως το επιφανειακό νερό γίνεται ψυχρότερο από το υποκείμενό του, τότε βυθίζεται ενώ συγχρόνως αντικαθίσταται με νερό από μεγαλύτερα βάθη. Για το λόγο αυτό, το επιφανειακό νερό δεν μπορεί να παγώσει παρά μόνο στην περίπτωση που το υποκείμενο νερό είναι εξ' ίσου ψυχρό. Αυτό το φαινόμενο εξηγεί, γιατί όπου επικρατεί η κατώτατη θερμοκρασία πήξεως, η θάλασσα δεν παγώνει αμέσως, όπως συμβαίνει με το καθαρό νερό, το οποίο παραμένει στην επιφάνεια, όταν ψυχθεί κάτω από τους 4°C. Το γεγονός ότι το ψυχρότερο θαλάσσιο νερό είναι βαρύτερο, όταν η αλατότητά του είναι μεγαλύτερη από 24,7‰, έχει μεγάλη σημασία για την παγκόσμια κυκλοφορία των βαθιών θαλασσίων νερών, η οποία οφείλεται στη βύθιση των πολύ ψυχρών πολικών υδατίνων μαζών.

Η παρουσία των διαφορών θερμοκρασίας και πυκνότητας στα διάφορα γεωγραφικά μήκη και πλάτη οδηγεί στη δημιουργία θαλασσίων ρευμά-

των, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος στον πλανήτη.

ζ) Πίεση.

Η ακριβής πίεση που προκαλείται από μια στήλη θαλασσινού νερού εξαρτάται από την αλατότητά του. Η πίεση σε κάποιο βάθος υπολογίζεται προσεγγιστικά με βάση τη μέση πυκνότητα του νερού από τη γνωστή σχέση:

$$p = p_o + \varrho g h$$

όπου ρ η πυκνότητα (σε kg/m^3), g η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s^2), h το βάθος (σε m) και p_o η πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (σε Pascal - Pa).

Επειδή η πυκνότητα μεταβάλλεται με την αλατότητα, την πίεση και τη θερμοκρασία, ο ακριβής υπολογισμός των πιέσεων στη θάλασσα απαιτεί την άθροιση των μερικών πιέσεων που αντιστοιχούν σε όλα τα τμήματα της στήλης του νερού.

Π.Β.1.6 Το νερό ως ψυκτικό μέσο των ΜΕΚ.

Παλαιότερα, η ψύξη των ναυτικών μηχανών γινόταν με το νερό της θάλασσας, με συνέπεια, τη διάβρωση των ψυχομένων επιφανειών της μηχανής και των εξαρτημάτων, των μηχανισμών και συσκευών της εγκαταστάσεως ψύξεως. Για την αποφυγή του σχηματισμού επικαθήσεων αλάτων χλωριούχου νατρίου, το νερό εξερχόταν από τη μηχανή με θερμοκρασία μικρότερη των 50°C (112°F). Αργότερα η ψύξη γινόταν με πόσιμο νερό σε θερμοκρασία εξαγωγής 60°C.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το πόσιμο νερό περιέχει άλατα ασβεστίου, τα οποία επικαθήμενα δημιουργούν ένα δυσθερμαγωγό στρώμα. Το στρώμα αυτό σε πάχος μεγαλύτερο από 1 mm, προκαλεί θερμικές καταπονήσεις, θραύσεις και φθορές. Αν το δυσθερμαγωγό στρώμα έχει μικρότερο πάχος, τότε προστατεύονται τα μέταλλα (χιτώνια κ.λ.π.) από τις διαβρώσεις.

Σήμερα η ψύξη των μηχανών γίνεται με νερό το οποίο έχει υποσθεί διαδικασία ***αφαλατώσεως και ιοναντallαγής***, με θερμοκρασία εξαγωγής 65 - 85°C.

Το πλήρως απεσταγμένο νερό μπορεί να δημιουργήσει διαβρώσεις, γιατί δεν περιέχει εκείνα τα συστατικά σκληρότητας, τα οποία αντιδρούν και προστατεύουν τις ψυχόμενες επιφάνειες από τη διάβρωση. Για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα, χρειάζεται να γίνει κάποια επεξεργασία του νερού έτσι ώστε:

α) Η ***σκληρότητα*** του νερού ως προς τη γερμανική κλίμακα αλατότητας να μην υπερβαίνει την τιμή dH = 10. Εάν το νερό έχει σκληρότητα dH >10 μπορεί να γίνει μαλακότερο (αποσκληρύνεται) εάν προστεθεί απεσταγμένο νερό ή χημικά πρόσθετα.

Εάν το νερό έχει σκληρότητα πολύ μικρότερη από 10 dH, τότε πρέπει να αναμειχθεί με σκληρό νερό ή με χημικά πρόσθετα.

Η αποσκλήρυνση του νερού δεν αφαιρεί το θειικό νάτριο ή τα χλωρίδια, με συνέπεια, να επιταχύνεται η διάβρωση. Γι' αυτό τα χλωρίδια πρέπει να είναι λιγότερα από 50 ppm (50 mgr / λίτρο).

β) Η ***οξύτητα*** του νερού η οποία προκαλεί διάβρωση (corrosion) πρέπει να εξαλείφεται με την προσθήκη αντιδιαβρωτικού νιτρικού νατρίου (sodium nitrite) μέχρι το νερό να γίνει αλκαλικό (pH = 8 - 9). Ελέγχεται με χάρτη ηλιοτροπίου, ο οποίος συγκρίνεται με πρότυπη κλίμακα χρωμάτων. Εάν το νερό είναι όξινο (pH<7), τότε ο χάρτης του ηλιοτροπίου γίνεται κόκκινος.

Υπενθυμίζεται ότι ο δείκτης pH είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκεντρώσεως ιόντων υδρογόνου. Η συγκέντρωση ιόντων Η σε ουδέτερο νερό είναι 10^{-7} mol / lit στους 25°C. Ο αρνητικός λογάριθμος αυτού, δηλαδή pH = 7, δείχνει ουδέτερο νερό, pH >7 αλκαλικό και pH <7 όξινο.

Π.Β.2 Στοιχεία ρευστομηχανικής.

Π.Β.2.1. Εισαγωγή στην υδροστατική.

Τα ρευστά περιλαμβάνουν τις δύο υπό κανονικές συνθήκες καταστάσεις της ύλης, την ***υγρή*** και την ***αέρια***. Τα ρευστά γενικά δεν έχουν συγκεκριμένο σχήμα και παίρνουν το σχήμα του δοχείου, στο οποίο τοποθετούνται. Τα υγρά ειδικότερα, δεν παρουσιάζουν αισθητή αντίσταση στη μεταβολή του σχήματός τους, ενώ παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντίσταση στη μεταβολή του όγκου τους, είναι δηλαδή πρακτικά ασυμπίεστα. Επιπλέον, εμφανίζουν ελεύθερη επιφάνεια (είτε επίπεδη επιφάνεια εντός δοχείου είτε σχεδόν σφαιρική επιφάνεια σε μορφή σταγόνας). Η αέρια κατάσταση διαφέρει από την υγρή στο ότι τα αέρια είναι συμπιεστά, και έχουν την εκτατική ιδιότητα, δηλαδή τείνουν να καταλάβουν όλο το διατιθέμενο χώρο, με αποτέλεσμα, να μην εμφανίζουν ελεύθερη επιφάνεια.

Π.Β.2.2 Ορισμοί μεγεθών.

α) Πίεση.

Ως ***πίεση*** ορίζεται το πηλίκο της δυνάμεως που

ενεργεί κάθετα και ομοιόμορφα πάνω σε μια επιφάνεια, διά του εμβαδού της. Δηλαδή, αν F η δύναμη που ενεργεί κάθετα και ομοιόμορφα πάνω σε μια επιφάνεια και A το εμβαδόν της επιφανείας, επάνω στην οποία ενεργεί η δύναμη F, τότε, η πίεση p, ορίζεται από τη σχέση:

$$p = \frac{F}{A}$$

Η μονάδα της πιέσεως στο σύστημα μονάδων S.I. είναι το Πασκάλ (Pascal) (Pa) όπου:

$$1Pa = \frac{1N}{1m^2}$$

ενώ συχνά (επειδή το Pa είναι πολύ μικρή μονάδα μετρήσεως) στην πράξη χρησιμοποιείται ως μονάδα πιέσεως το bar, όπου:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Η πίεση αυτή ονομάζεται και απόλυτη πίεση σε αντιδιαστολή με τη σχετική (ή μανομετρική), που θα αναφερθεί στη συνέχεια, ενώ είναι πάντα θετική.

Το μείγμα των αερίων που αποτελούν την ατμόσφαιρα της γης έχει κάποιο βάρος. Το βάρος αυτό της ατμόσφαιρας συνιστά μια δύναμη, η οποία ενεργεί επάνω σε όλες τις επιφάνειες των πραγμάτων που βρίσκονται εντός της. Έχομε επομένως, μια πίεση που οφείλεται στην ατμόσφαιρα, την ***ατμοσφαιρική πίεση***. Η τιμή της ατμοσφαιρικής πιέσεως σε έναν τόπο, εξαρτάται από το υψόμετρο του τόπου και από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν τοπικά τη συγκεκριμένη στιγμή. Ως προς το πρώτο, είναι εύκολα κατανοητό, ότι ***όσο ψηλότερα βρισκόμασθε, τόσο λιγότερο αέρα έχομε από πάνω μας, άρα λιγότερο βάρος και κατά συνέπεια μικρότερη ατμοσφαιρική πίεση.*** Όσον αφορά στο δεύτερο, δηλαδή τις καιρικές συνθήκες, η ροή των αερίων μαζών, σε συνδυασμό με τις θερμοκρασιακές μεταβολές και το ανάγλυφο της γης, δημιουργούν διαφοροποιήσεις στις πιέσεις. Σε κανονικές συνθήκες, μια μέση τιμή της ατμοσφαιρικής πιέσεως στην επιφάνεια της θάλασσας είναι:

$$p_{atm} = 1{,}012 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Παλαιότερα, αυτή η τιμή ονομαζόταν ***φυσική ατμόσφαιρα*** και ήταν μια από τις μονάδες μετρήσεως πιέσεων, ενώ η τεχνική ατμόσφαιρα ορίζεται ως:

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 9{,}81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

β) Μανομετρική πίεση (ή σχετική πίεση).

Μανομετρική πίεση είναι η διαφορά της πιέσεως σε συγκεκριμένο σημείο, από την αντίστοιχη ατμοσφαιρική στο σημείο αυτό. Η μανομετρική πίεση μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα με το αν στο συγκεκριμένο σημείο η (απόλυτη) πίεση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την ατμοσφαιρική αντίστοιχα. ***Λέγεται μανομετρική, γιατί είναι η πίεση, την οποία μετρά ένα ειδικό όργανο μετρήσεως πιέσεων, το μανόμετρο.*** Η απόλυτη πίεση προφανώς προκύπτει ως άθροισμα της μανομετρικής και της ατμοσφαιρικής στο συγκεκριμένο σημείο μετρήσεως, δηλαδή:

$$p_{\alpha\pi} = p_{\sigma\chi} + p_{atm}$$

γ) Υδροστατική πίεση.

Σε ακίνητο ρευστό, λόγω του βάρους των υπερκειμένων στρωμάτων σε κάθε σημείο του, ασκείται η λεγόμενη ***υδροστατική πίεση***. Αυτή εξαρτάται από το ύψος του ρευστού πάνω από το συγκεκριμένο σημείο, ενώ είναι ανεξάρτητη από τον προσανατολισμό της επιφάνειας, με την οποία τη μετράμε, εντός του ρευστού ή στα τοιχώματα του δοχείου.

Η διαφορά πιέσεων μεταξύ δύο σημείων, μέσα στη μάζα ηρεμούντος ρευστού, ισούται, με το βάρος της στήλης του ρευστού, που έχει βάση τη μονάδα επιφάνειας, και ύψος την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ αυτών των σημείων. Ειδικά, για τα υγρά που είναι ασυμπίεστα, το βάρος της στήλης υπολογίζεται εύκολα από την πυκνότητά τους, οπότε η μεταβολή στην πίεση θα δίδεται:

$$p_B - p_A = \varrho \cdot g \cdot \Delta h_{AB}$$

όπου το σημείο B βρίσκεται σε χαμηλότερη θέση από το A, Δh_{AB} η υψομετρική διαφορά τους, ϱ η πυκνότητα του υγρού και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Αν το σημείο A είναι στην επιφάνεια του υγρού, τότε η πίεση στο σημείο B δίδεται:

$$p_B = \varrho \cdot g \cdot \Delta h_{AB} + p_{atm}$$

Τα βασικά χαρακτηριστικά της υδροστατικής πιέσεως είναι:

- Η πίεση επάνω σε στοιχειώδη επιφάνεια και σε ένα σημείο του υγρού είναι η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις.
- Οι δυνάμεις που ασκούνται (άρα και οι πιέσεις), σε οποιεσδήποτε επιφάνειες μέσα στο υγρό, καθώς και στα τοιχώματα του δοχείου, είναι πάντα κάθετες προς αυτές, με φορά από

το υγρό προς τις επιφάνειες.

– Η πίεση μέσα στο υγρό αυξάνει, όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος.

– Η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, αν υπάρχει, είναι οριζόντια. Σε ανοικτό δοχείο στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού ασκείται η τοπική ατμοσφαιρική πίεση.

Σύμφωνα με την ***αρχή του Pascal***, σε υγρό που ηρεμεί, η μεταβολή της πιέσεως σε ένα σημείο του, μεταφέρεται ισόποσα σε όλα τα σημεία του υγρού. Αυτή είναι η βασική αρχή λειτουργίας πολλών υδραυλικών συστημάτων, όπως των υδραυλικών εμβόλων, των υδραυλικών φρένων του αυτοκινήτου, του υδραυλικού πιεστηρίου κ.λ.π.

Αποτέλεσμα της δράσεως της υδροστατικής πιέσεως είναι η γνωστή ***αρχή του Αρχιμήδη***, σύμφωνα με την οποία κάθε σώμα βυθισμένο μέσα σε υγρό που ηρεμεί, υφίσταται εκ μέρους του υγρού άνωση, ίση προς το βάρος του εκτοπιζόμενου υγρού. Στην αρχή αυτή στηρίζεται η επίπλευση των πλοίων, αλλά και όλοι οι αυτοματισμοί τύπου πλωτήρα.

Π.Β.2.3 Όργανα μετρήσεως της πιέσεως.

α) Απλό μανόμετρο στήλης υγρού.

Αν σε δοχείο με υγρό τοποθετήσομε σε οπή του κατάλληλο διάφανο σωλήνα σχήματος U, το υγρό θα διαρρεύσει εντός του σωλήνα. Αν η πίεση εντός του δοχείου είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, η στήλη του υγρού θα ανέλθει στο δεύτερο σκέλος του σωλήνα σε ύψος μεγαλύτερο από το σημείο συνδέσεως με το δοχείο. Σε περίπτωση πιέσεως μικρότερης της ατμοσφαιρικής (υποπίεση ή πίεση κενού) η στάθμη στο δεύτερο σκέλος θα κατέλθει σε σημείο χαμηλότερο από το σημείο ενώσεως του σωλήνα με το δοχείο.

Η διαφορά πιέσεως από την ατμοσφαιρική υπολογίζεται από το ύψος της στήλης υγρού και το ειδικό βάρος του, δηλαδή:

$$p - p_{atm} = \varepsilon \cdot \Delta h = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

όπου το Δh είναι θετικό για ύψος στήλης μεγαλύτερο και αρνητικό για ύψος στήλης μικρότερο από το σημείο συνδέσεως με το δοχείο.

Το υγρό εντός του σωλήνα τύπου U μπορεί να είναι διαφορετικό από αυτό εντός του δοχείου, αρκεί να μην αναμειγνύονται ή να αντιδρούν χημικά μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή η πίεση εντός του δοχείου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα ειδικά βάρη και των δύο υγρών. Ο υπολογισμός απλοποιείται, αν εντός του δοχείου υπάρχει αέριο, οπότε η πίεση σε αυτό προκύπτει απλά από τη διαφορά στάθμης μεταξύ των δύο σκελών του σωλήνα τύπου U. Τα υγρά που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι το νερό (με πυκνότητα 1000 kg/m^3) και ο υδράργυρος (με πυκνότητα περίπου 13.600 kg/m^3). Στην πίεση μιας ατμόσφαιρας αντιστοιχεί στήλη νερού ύψους περίπου 10 m και στήλη υδραργύρου ύψους περίπου 760 mm. Έτσι ο υδράργυρος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μεγάλων διαφορών πιέσεως, ενώ το νερό για να μετρώνται μικρές διαφορές πιέσεως, με μεγαλύτερη όμως ακρίβεια.

β) Μανόμετρο σωλήνα Bourdon.

Για διαφορές πιέσεως μεγαλύτερες από μία ατμόσφαιρα, καθώς και στις περισσότερες τεχνικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται ειδικά μεταλλικά μανόμετρα τύπου σωλήνα Bourdon. Αυτά στηρίζονται στην παραμόρφωση ενός καμπύλου μεταλλικού σωλήνα, ελλειπτικής διατομής, όταν εντός του διοχετευθεί το υπό πίεση ρευστό, ενώ εξωτερικά επιδρά πάντα η τοπική ατμοσφαιρική πίεση. Κατ' αυτόν τον τρόπο δίνουν τη σχετική (μανομετρική) πίεση.

Για ειδικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται όργανα μετρήσεως της πιέσεως που στηρίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας (πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, μεταβολή της αγωγιμότητας κ.λ.π.) και ονομάζονται μορφοτροπείς πιέσεως (pressure transducers).

Π.Β.2.4 Υδροδυναμική.

α) Γενικά.

Η κίνηση των ρευστών υπόκειται στους βασικούς νόμους, που περιγράφονται από την εξίσωση συνέχειας, το θεώρημα ορμής και την εξίσωση ενέργειας. Όλα τα ρευστά (υγρά ή αέρια) κατά την κίνησή τους εμφανίζουν αντιστάσεις, δηλαδή εσωτερικές τριβές, μέτρο των οποίων είναι το ιξώδες (συνεκτικότητα). Το ιξώδες είναι αποτέλεσμα δύο μηχανισμών, των συγκρούσεων μεταξύ των σωματιδίων του ρευστού και των ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων. Στα αέρια υπερισχύει ο πρώτος μηχανισμός, ενώ στα υγρά ο δεύτερος, λόγω της μικρότερης αποστάσεως των σωματιδίων τους. Με την αύξηση της θερμοκρασίας στα υγρά μειώνεται το ιξώδες γιατί απομακρύνονται τα σωματίδια μεταξύ τους, ενώ στα αέρια αυξάνεται το ιξώδες με την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω της αυξήσεως των συγκρούσεων μεταξύ των σωματιδίων. Στα υγρά, το ιξώδες είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι στα αέρια. Τα παχύρρευστα υγρά (όπως τα λιπαντικά)

έχουν μεγαλύτερο ιξώδες από τα λεπτόρρευστα (όπως το νερό). Λόγω της υπάρξεως του ιξώδους, εμφανίζονται διατμητικές (εφαπτομενικές) τάσεις κατά την κίνηση των ρευστών, οι οποίες είναι οι τάσεις τριβής, ενώ στα ακίνητα ρευστά εμφανίζονται μόνο κάθετες τάσεις (η πίεση).

Για την απλοποίηση των υπολογισμών, πολλές φορές θεωρούμε την ύπαρξη ιδανικών ρευστών μη συνεκτικών (δηλαδή χωρίς ιξώδες). Στα ρευστά αυτά δεν εμφανίζονται εσωτερικές τριβές (διατμητικές τάσεις) αλλά μόνο κάθετες τάσεις (δηλαδή πίεση).

β) Εξίσωση συνέχειας.

Η εξίσωση της συνέχειας είναι η έκφραση της αρχής διατηρήσεως της μάζας στη μηχανική των ρευστών. Αν θεωρήσομε μόνιμη κατάσταση ροής (μόνιμο πεδίο ροής) και κάποια νοητή κλειστή επιφάνεια, τότε η εξίσωση της συνέχειας ορίζει ότι η συνολική παροχή μάζας που εισέρχεται στη νοητή κλειστή επιφάνεια είναι μηδέν, ή διαφορετικά η παροχή μάζας που εισέρχεται στον όγκο που ορίζει η κλειστή νοητή επιφάνεια, ισούται με την παροχή μάζας που εξέρχεται.

Στην περίπτωση κεντρικού αγωγού που διακλαδίζεται σε πολλούς κλάδους, η εξίσωση συνέχειας ορίζει ότι η παροχή μάζας στον κεντρικό αγωγό ισούται με το άθροισμα των παροχών στους επιμέρους κλάδους.

γ) Το θεώρημα ορμής.

Το θεώρημα της ορμής είναι η έκφραση του δεύτερου νόμου του Newton για τη μηχανική των ρευστών. Αναφέρεται σε όγκο αναφοράς ο οποίος περικλείεται εντός νοητής επιφάνειας. Σύμφωνα με το θεώρημα της ορμής, η μεταβολή της ορμής του ρευστού εντός του όγκου αναφοράς στη μονάδα του χρόνου ισούται με την ορμή που εισέρχεται στον όγκο αναφοράς στη μονάδα του χρόνου συν τη δράση των δυνάμεων τριβής και πιέσεως στα όρια της επιφάνειας, των δυνάμεων που εξασκούνται από στερεά σώματα και των πεδιακών δυνάμεων (βαρύτητα) που ασκούνται σε όλο τον όγκο αναφοράς.

Στην περίπτωση μόνιμου πεδίου ροής, η συνολική ορμή εντός του όγκου αναφοράς δεν μεταβάλλεται. Μεταβάλλεται η ορμή που εισέρχεται και εξέρχεται από αυτόν τον όγκο. Έτσι, αν έχομε ένα πτερύγιο στροβίλου αντιδράσεως, το οποίο διαρρέεται από ατμό, η καμπυλότητα του πτερυγίου μεταβάλλει τη διεύθυνση ροής, άρα και την ορμή του ρευστού. Ως αποτέλεσμα, ασκείται δύναμη στο πτερύγιο (ενώ το πτερύγιο ασκεί στο ρευστό την αντίθετη δύναμη αντιδράσεως).

δ) Θεώρημα ενέργειας.

Το θεώρημα ενέργειας είναι η έκφραση του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου και επιβάλλει τη διατήρηση της συνολικής ενέργειας κατά τη ροή του ρευστού. Είναι ουσιαστικά ένας ισολογισμός ενέργειας, μεταξύ του συνόλου των διαφορετικών μορφών ενέργειας του ρευστού, δηλαδή εσωτερικής ενέργειας, κινητικής ενέργειας, δυναμικής ενέργειας, πιέσεως και θερμότητας.

ε) Εξίσωση Bernoulli.

Η εξίσωση Bernoulli είναι μια προσεγγιστική απλή εξίσωση με αρκετές εφαρμογές, και ισχύει μόνο για ***μόνιμο πεδίο ροής ασυμπίεστου, μη συνεκτικού ρευστού***, δηλαδή μόνο για ιδεατά υγρά, ή για ιδεατά αέρια μικρής ταχύτητας. Συνδέει δύο διαφορετικά σημεία εντός του ρευστού. Για ροή χωρίς στροβιλισμούς (αστρόβιλο πεδίο ροής) ισχύει για οποιαδήποτε δύο σημεία του πεδίου, ενώ για ροή με στροβιλισμούς (στροβιλό πεδίο ροής) ισχύει για σημεία τα οποία ανήκουν στην ίδια γραμμή ροής. Η έκφρασή της είναι η ακόλουθη:

$$p_t = \text{σταθερό}$$

ή

$$p_{t,1} = p_{t,2}$$

δηλαδή, η ολική πίεση μεταξύ των δύο σημείων παραμένει σταθερή.

Η ολική πίεση είναι μία έκφραση της συνολικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου στα ασυμπίεστα ρευστά και δίδεται:

$$p_t = p + \frac{1}{2}\varrho c^2 + \varrho g h$$

όπου ο πρώτος όρος είναι η στατική πίεση, ο δεύτερος η κινητική ενέργεια ανά μονάδα όγκου και ο τρίτος η δυναμική ενέργεια του ρευστού ανά μονάδα όγκου. Έτσι, η εξίσωση Bernoulli γίνεται:

$$p_{t,1} = p_{t,2} \Rightarrow p_1 + \frac{1}{2}\varrho {c_1}^2 + \varrho g h_1 =$$
$$= p_2 + \frac{1}{2}\varrho {c_2}^2 + \varrho g h_2$$

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί έκφραση της αρχής διατηρήσεως της μηχανικής ενέργειας σε ασυμπίεστο μη συνεκτικό ρευστό. Ο δεύτερος όρος της κινητικής ενέργειας ονομάζεται και ***δυναμική πίεση***, ενώ το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής πιέσεως ονομάζεται ***πίεση ανακοπής***.

Στη ροή εντός σωλήνα με στένωση, η ταχύτητα αυξάνεται στη στένωση (για να διατηρηθεί η παροχή σταθερή, όπως επιβάλλει η εξίσωση συνέχειας). Για να μείνει η ολική πίεση σταθερή (σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli) πρέπει να μειωθεί η στατική πίεση. Σε δύο πλοία που κινούνται παράλληλα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, λόγω της στενώσεως που δημιουργείται, παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας της ροής ανάμεσα στα δύο πλοία και πτώση της πιέσεως, με αποτέλεσμα τα δύο πλοία να τείνουν να συγκρουσθούν, λόγω της μεγαλύτερης πιέσεως που εξασκείται στις εξωτερικές τους πλευρές.

Παράδειγμα εφαρμογής της εξισώσεως Bernoulli είναι και η αρχή λειτουργίας του εξαεριωτή (carburator). Αέρας διέρχεται από ένα σωλήνα με στένωση (τύπου Βεντούρι) και η πίεσή του πέφτει, σύμφωνα με την εξίσωση του Bernoulli. Στο λαιμό του σωλήνα (το στενότερο σημείο του) οδηγείται το καύσιμο. Η πτώση της πιέσεως του αέρα στο λαιμό του Βεντούρι αναρροφά το καύσιμο, με αποτέλεσμα την ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα και την παρασκευή του καυσίμου μείγματος.

Στα πραγματικά συνεκτικά ρευστά η εξίσωση Bernoulli δεν ισχύει ακριβώς, διότι υπάρχουν απώλειες πιέσεως λόγω τριβών και η παραπάνω εξίσωση τροποποιείται και γίνεται:

$$p_{t,1} = p_{t,2} + \Delta p_{απωλειών} \Rightarrow p_1 + \frac{1}{2}\varrho c_1^2 + \varrho g h_1 =$$

$$= p_2 + \frac{1}{2}\varrho c_2^2 + \varrho g h_2 + \Delta p_{απωλειών}$$

Η παραπάνω εξίσωση ονομάζεται ***γενικευμένη εξίσωση Bernoulli***.

στ) Στρωτή και τυρβώδης ροή.

Οι ροές που χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές των εσωτερικών τριβών είναι εξαιρετικά ευσταθείς. Στις ροές αυτές οι τυχόν αναταράξεις εξομαλύνονται γρήγορα, λόγω της δράσεως των τριβών και οι γραμμές ροής είναι παράλληλες μεταξύ τους και εξαιρετικά ομαλές. Η ροή αυτή, που χαρακτηρίζεται από παράλληλες γραμμές ροής, ονομάζεται ***στρωτή***. Η στρωτή ροή επιτυγχάνεται σε ρευστά υψηλού ιξώδους και μικρής ταχύτητας ροής.

Με την αύξηση της ταχύτητας ροής και τη μείωση του ιξώδους εμφανίζονται έντονες αναταράξεις στη ροή (στροβιλισμοί - τύρβη) και η ροή ονομάζεται ***τυρβώδης***. Στη ροή αυτή οι δυνάμεις συνεκτικότητας δεν είναι αρκετά μεγάλες, για να εξομαλύνουν τη ροή. Αν και οι δυνάμεις συνεκτικότητας είναι μικρές, εμφανίζονται μεγάλες απώλειες πιέσεως και επιφανειακές τριβές. Αυτό οφείλεται στην «καταστροφή» ενέργειας που συντελείται στις προκαλούμενες μικροδύνες.

Ο Osborne Reynolds εισήγαγε έναν αδιάστατο αριθμό (που ονομάζεται αριθμός Reynolds - Re), ο οποίος εκφράζει το λόγο των αδρανειακών δυνάμεων προς τις δυνάμεις συνεκτικότητας εντός του ρευστού κατά την κίνησή του. Για μεγάλες τιμές του Re προκύπτει τυρβώδης ροή, ενώ για μικρές τιμές του προκύπτει στρωτή ροή. Ο αριθμός Re δίδεται:

$$Re \equiv \frac{\varrho UL}{\mu} = \frac{UL}{\nu}$$

όπου U η χαρακτηριστική ταχύτητα της ροής, L το χαρακτηριστικό μήκος (π.χ. διάμετρος σωλήνα), ρ η πυκνότητα, μ το δυναμικό ιξώδες και ν το κινηματικό ιξώδες.

ζ) Στρωτή ροή σε ευθείς κυκλικούς σωλήνες.

Στρωτή ροή σε ευθύγραμμους σωλήνες εμφανίζεται μέχρι τον αριθμό Re ≈ 2300 (ανώτατη τιμή για στρωτή ροή σε ευθύγραμμους σωλήνες). Ο αριθμός Re για κυκλικούς σωλήνες δίδεται:

$$Re = \frac{\varrho UB}{\mu} = \frac{UD}{\nu}$$

όπου U η μέση ταχύτητα της ροής, που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U = \frac{Q}{\pi R^2}$$

όπου Q η παροχή όγκου (σε m^3/sec) και R η εσωτερική ακτίνα του σωλήνα.

Τότε, η διανομή της ταχύτητας σε συνάρτηση με την ακτίνα είναι ανεξάρτητη της αξονικής αποστάσεως (ίδια σε κάθε αξονική θέση) και έχει παραβολικό προφίλ. Η μέση ταχύτητα U της ροής δίδεται:

$$U = \frac{1}{2}u_m$$

όπου u_m η μέγιστη ταχύτητα στο κέντρο του αγωγού.

Η πτώση της πιέσεως μέσα στον αγωγό είναι γραμμική και δίδεται μεταξύ δύο σημείων που απέχουν απόσταση L από τη σχέση:

$$\Delta p = -8\mu LU / R^2$$

Σε συνάρτηση με τον αριθμό Re προκύπτει:

$$\Delta p = -\lambda \frac{L}{D}\frac{\varrho}{2}U^2$$

όπου με λ συμβολίζεται ***ο συντελεστής των γραμμικών απωλειών*** του σωλήνα και δίδεται για κυκλικούς σωλήνες:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

η) Μεταβατική περιοχή (κρίσιμη περιοχή).

Ισχύει για αριθμούς Re: $\approx 2300 \leq Re \leq \approx 4000$

Η περιοχή αυτή πρέπει να αποφεύγεται, λόγω της αστάθειας της ροής. Η πτώση της πιέσεως σε ευθύγραμμους σωλήνες δίδεται από την ίδια σχέση, όπως και στη στρωτή ροή:

$$\Delta p = -\lambda \frac{L}{D}\frac{1}{2}\varrho U^2$$

όπου ο συντελεστής γραμμικών απωλειών λ παίρνει τιμές: $\lambda \approx 0{,}028 \div 0{,}04$

θ) Τυρβώδης ροή σε ευθύγραμμους αγωγούς.

Εμφανίζεται για αριθμό Re μεγαλύτερο από περίπου 4000. Η πτώση της πιέσεως δίδεται από την ίδια σχέση:

$$\Delta p = -\lambda \frac{L}{D}\frac{1}{2}\varrho U^2$$

Το λ προκύπτει από το γνωστό ***διάγραμμα Moody*** (σχ. Π.Β.2α) σε συνάρτηση αριθμού Re και σχετικής τραχύτητας. Η σχετική τραχύτητα δίδεται:

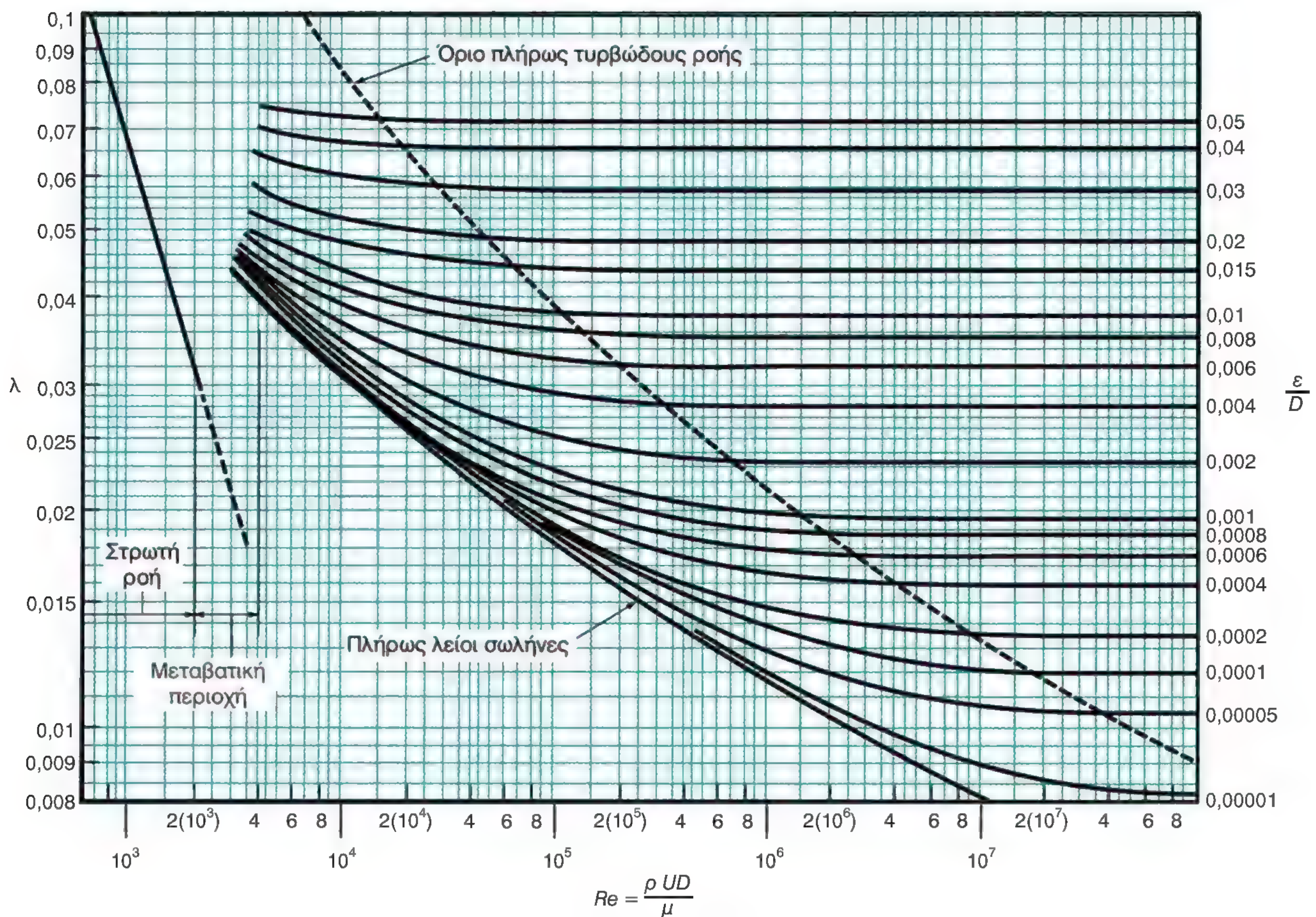
$$\varepsilon_s = \varepsilon / D$$

όπου D η διάμετρος του αγωγού και ε η τραχύτητα. Αυτή διαφέρει για κάθε υλικό κατασκευής του σωλήνα και προκύπτει από πίνακες.

ι) Εντοπισμένες αντιστάσεις και γραμμικές απώλειες σε σωληνώσεις.

Η μέση τιμή της ολικής πιέσεως σε μία θέση ενός σωλήνα προκύπτει με ολοκλήρωση:

$$\overline{p}_t = p + \alpha \frac{\varrho}{2} U^2 + \varrho g h$$



Σχ. Π.Β.2α.
Το διάγραμμα Moody

όπου για στρωτή ροή α = 2, ενώ για τυρβώδη ροή α = 1,09. Για τυρβώδη ροή συνεπώς, μπορούμε να πάρομε προσεγγιστικά το α = 1. Αυτή είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση εντός των σωληνώσεων.

Οι αντιστάσεις λόγω της παρουσίας κάποιου στοιχείου σωληνώσεως (γωνία, καμπύλη, στόμιο, βαλβίδα κ.λ.π.) ονομάζονται ***εντοπισμένες ή τοπικές αντιστάσεις*** και δίνονται από τη σχέση:

$$\Delta p_{t_E} = \zeta_E \frac{\varrho}{2} U^2$$

όπου ζ_E ο συντελεστής τοπικών απωλειών (διαφορετικός για κάθε στοιχείο και εξαρτώμενος από τον αριθμό Re). Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται πειραματικά και συνήθως δίδεται σε πίνακες από τον κατασκευαστή.

Οι γραμμικές απώλειες δίδονται αντίστοιχα σε κάθε ευθύγραμμο τμήμα αγωγού σταθερής διατομής:

$$\Delta p_{t_\Gamma} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\varrho}{2} U^2$$

Οι συνολικές απώλειες σε έναν αγωγό δίδονται ως άθροισμα όλων των τοπικών και γραμμικών απωλειών:

$$\Delta p_{t_{ΟΛΙΚΟ}} = \sum_i (\Delta p_{t_E})_i + \sum_j (\Delta p_{t_\Gamma})_j =$$

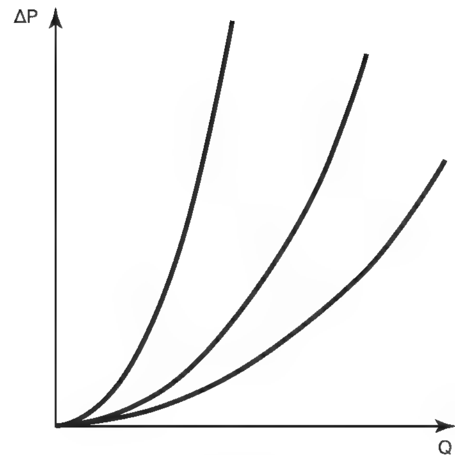
$$\sum_i (\zeta_E \frac{\varrho}{2} U^2)_i + \sum_j (\lambda \frac{L}{D} \frac{\varrho}{2} U^2)_j$$

Επειδή η μέση ταχύτητα U σε κάθε τμήμα του αγωγού είναι ανάλογη της παροχής, βγάζοντας κοινό παράγοντα την παροχή όγκου Q, η παραπάνω σχέση γράφεται στη γενική μορφή:

$$\Delta p_{t_{ΟΛΙΚΟ}} = \kappa Q^2$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι οι απώλειες ολικής πιέσεως είναι ανάλογες του τετραγώνου της παροχής, δηλαδή με διπλασιασμό της παροχής μέσα από μία σωλήνωση τετραπλασιάζονται οι απώλειες πιέσεως. Η μορφή της καμπύλης είναι σχεδόν παραβολή, αφού ο συντελεστής κ μεταβάλλεται με τον αριθμό Re (αφού μεταβάλλονται τα διάφορα λ και ζ_E). Για υψηλούς αριθμούς Re, στην πλήρως τυρβώδη περιοχή, η καμπύλη πρακτικά γίνεται παραβολή. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται ***χαρακτηριστική απωλειών σωληνογραμμής*** (σχ. Π.Β.2β).

Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες σε μια σωλήνωση, η εξίσωση Bernoulli τροποποιείται, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, και γίνεται μεταξύ δύο θέσεων 1 και 2 (όπου η θέση 1 προηγείται της θέσεως 2 στη σωλήνωση):



Σχ. Π.Β.2β.
Καμπύλες τριών διαφορετικών σωληνογραμμών. Η μεταβολή της πτώσεως πιέσεως με την παροχή για κάθε σωληνογραμμή είναι σχεδόν παραβολική.

$$p_{t,1} = p_{t,2} + \Delta p_{t1,2}$$

Οι απώλειες μεταξύ των δύο θέσεων είναι οι συνολικές απώλειες της ροής (γραμμικές και τοπικές σε όλα τα στοιχεία της σωληνώσεως), οι οποίες και μπαίνουν ως απόλυτη τιμή. Η παραπάνω σχέση ονομάζεται ***ενεργειακή εξίσωση σωληνογραμμής, ή γενικευμένη εξίσωση Bernoulli***. Όταν υπάρχουν στη σωλήνωση μηχανές που δίδουν (αντλίες) ή αφαιρούν (στρόβιλοι) ενέργεια από το ρευστό, η παραπάνω σχέση τροποποιείται ανάλογα. Οι αντλίες προσδίδουν ενέργεια στο ρευστό, ενώ οι στρόβιλοι αφαιρούν ενέργεια από το ρευστό, μεταβάλλοντας αντίστοιχα την ολική του πίεση.

Π.Β.3 Μετάδοση θερμότητας.

Π.Β.3.1 Γενικά.

Γνωρίζομε από την καθημερινή πρακτική ότι, εάν ένα κομμάτι θερμού μετάλλου τοποθετηθεί μέσα σε κρύο νερό, το κομμάτι του μετάλλου ψύχεται, ενώ το νερό θερμαίνεται, έως ότου και τα δύο αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία. Η εξίσωση της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας οφείλεται στη ροή θερμότητας από το θερμό σώμα στο ψυχρό.

Η θερμότητα ορίζεται ως η μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσα από το όριο ενός θερμοδυναμικού συστήματος συγκεκριμένης θερμοκρασίας προς ένα

άλλο σύστημα – ή στο περιβάλλον – που βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία, λόγω ακριβώς αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο συστημάτων.

Η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από σύστημα μεγαλύτερης θερμοκρασίας προς σύστημα χαμηλότερης. Η αποκλειστική αιτία αυτής της μεταφοράς ενέργειας είναι η διαφορά θερμοκρασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ίδιο το σύστημα δεν περιέχει θερμότητα. ***Η θερμότητα μπορεί να ορισθεί μόνο στα όρια του συστήματος,*** κατά τη διαδικασία της μεταφοράς της από ένα σύστημα σε ένα άλλο και για όσο χρόνο διαρκεί η μεταφορά. Στο προηγούμενο παράδειγμα τα δύο συστήματα του μετάλλου και του νερού δεν περιέχουν θερμότητα. Αυτό που περιέχουν είναι φυσικά ενέργεια. Η θερμότητα εμφανίζεται (στα όρια των συστημάτων) μέχρι να επέλθει θερμοκρασιακή ισορροπία στα δύο συστήματα. Το αντικείμενο της «μεταδόσεως θερμότητας» είναι η διερεύνηση των μηχανισμών, με τους οποίους η θερμότητα μεταδίδεται μεταξύ των σωμάτων και η ποσοτικοποίηση αυτής της συναλλαγής. Θα μπορούσε να διατυπωθεί ο παρακάτω ορισμός για τη μετάδοση θερμότητας:

Μετάδοση θερμότητας είναι η μεταφορά ενέργειας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς.

Έτσι, όταν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ δύο εργαζομένων μέσων ή δύο συστημάτων, παρατηρείται μετάδοση θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί, με τους οποίους γίνεται αυτή η μεταφορά θερμικής ενέργειας. Ο πρώτος μηχανισμός αναφέρεται σε ακίνητο μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο) και ονομάζεται ***αγωγή*** (***conduction***). Ο δεύτερος αναφέρεται σε μετάδοση θερμότητας μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός κινούμενου ρευστού και ονομάζεται ***συναγωγή*** (***convection***). Ο τρίτος στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε σώμα πεπερασμένης θερμοκρασίας εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Έτσι μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας θα υπάρχει μετάδοση θερμότητας, χωρίς την ανάγκη παρουσίας κάποιου ενδιάμεσου σώματος, με την εφαρμογή του τρίτου μηχανισμού, της ***θερμικής ακτινοβολίας*** (***thermal radiation***).

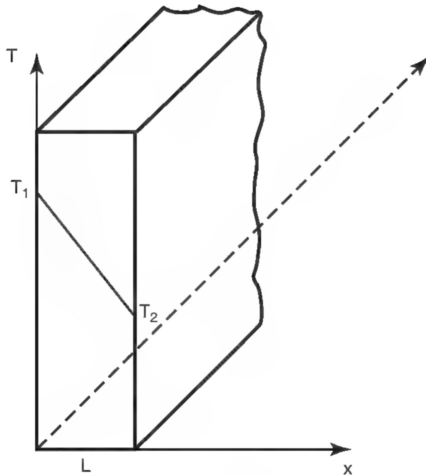
Π.Β.3.2 Αγωγή.

Ο πρώτος μηχανισμός μεταδόσεως θερμότητας που θα εξετασθεί είναι η αγωγή θερμότητας. Η αγωγή θερμότητας αναφέρεται σε μακροσκοπικώς ακίνητα σώματα (στερεά ή ρευστά σε ακινησία) και συνδέεται με τη συναλλαγή ενέργειας σε μοριακό επίπεδο. Ουσιαστικά πρόκειται για τη μετάδοση ενέργειας από σωματίδια υψηλότερης προς σωματίδια χαμηλότερης ενέργειας, από τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Ας θεωρήσομε ένα αέριο, το οποίο μακροσκοπικά βρίσκεται σε ακινησία. Έστω ότι το αέριο βρίσκεται μεταξύ δύο επιφανειών διαφορετικής θερμοκρασίας. Η υψηλότερη θερμοκρασία σε κάποιο σημείο του αερίου συνδέεται με υψηλότερη ενέργεια των σωματιδίων του αερίου λόγω τυχαίας κινήσεως, λόγω εσωτερικής περιστροφής και λόγω ταλαντώσεως των ατόμων του κάθε μορίου του αερίου. Τα σωματίδια σε επαφή με την πιο θερμή επιφάνεια διαθέτουν υψηλότερη ενέργεια την οποία μεταδίδουν στα γειτονικά τους σωματίδια χαμηλότερης ενέργειας μέσω των συγκρούσεων. Έτσι στην περίπτωση θερμοκρασιακής κλίσεως, στο εσωτερικό του αερίου υπάρχει μετάδοση ενέργειας από την περιοχή της υψηλότερης θερμοκρασίας προς την περιοχή της χαμηλότερης, μέσω ακριβώς των συγκρούσεων των μορίων. Η μετάδοση αυτή της ενέργειας μέσω των τυχαίων συγκρούσεων των μορίων καλείται ***διάχυση ενέργειας*** (***diffusion***).

Παρόμοιος μηχανισμός εμφανίζεται και στην περίπτωση των ακινήτων υγρών. Στην περίπτωση όμως των υγρών, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων είναι πολύ πιο ισχυρές (παρουσία ισχυρών διαμοριακών δυνάμεων εκτός των συγκρούσεων), οπότε περιμένομε λογικά το φαινόμενο της διαχύσεως της θερμικής ενέργειας μέσω της αλληλεπιδράσεως των μορίων να είναι πιο έντονο. Στην περίπτωση των στερεών, η διάδοση της ενέργειας πραγματοποιείται μέσω δύο μηχανισμών. Στην περίπτωση των μονωτών, η ενέργεια διαδίδεται με τη μορφή πλεγματικών κυμάτων εντός της δομής του στερεού. Τα κύματα αυτά επάγονται από την ταλαντωτική κίνηση των ατόμων. Στην περίπτωση των αγωγών, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συμμετέχουν, μέσω της κινήσεώς τους, στη διάχυση της θερμικής ενέργειας στον όγκο του στερεού, μαζί με τα πλεγματικά κύματα.

Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή περιγράφεται (σε μία διάσταση) από το ***νόμο του Fourier***. Ας θεωρήσομε επίπεδο σώμα σταθερού πάχους L με τις άλλες δύο διαστάσεις του να εκτείνονται στο άπειρο (σχ. Π.Β.3α). Αν επικρατεί στη μία πλευρά του θερμοκρασία T_1 και στην άλλη πλευρά του θερμοκρασία T_2, μικρότερη της T_1, ενώ η κλίση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του είναι σταθερή (γραμμική



Σχ. Π.Β.3α.
Μεταβολή της θερμοκρασίας σε επίπεδο τοίχο, με αγωγή θερμότητας.

μεταβολή της θερμοκρασίας), τότε ο ρυθμός μεταδόσεως θερμότητας κατά την x διεύθυνση (κάθετα στο επίπεδο του σώματος) ανά μονάδα επιφάνειας δίδεται:

$$\dot{q}''_x = -k\frac{dT}{dx}$$

Το παραπάνω μέγεθος ονομάζεται ***πυκνότητα ροής θερμότητας ή πυκνότητα θερμορροής (heat flux)***, ενώ η μονάδα μετρήσεώς του είναι W/m^2 (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας). Το μέγεθος αυτό εκφράζει τη θερμική ενέργεια που περνά από μοναδιαία επιφάνεια στη μονάδα του χρόνου, λόγω της θερμοκρασιακής κλίσεως σε διεύθυνση κάθετη στην εν λόγω επιφάνεια. Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω σχέση οφείλεται στο γεγονός ότι η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται από μεγαλύτερες προς μικρότερες θερμοκρασίες, δηλαδή στη φορά των αρνητικών θερμοκρασιακών κλίσεων.

Ο συντελεστής k στην παραπάνω σχέση ονομάζεται ***συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας*** (***thermal conductivity***) με μονάδα μετρήσεως W/(m K). Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από το υλικό στο οποίο εφαρμόζεται η θερμοκρασιακή κλίση (ενώ μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, που θεωρήσαμε σταθερή θερμοκρασιακή κλίση στο εσωτερικό του σώματος (γραμμική μεταβολή της θερμοκρασίας), η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$\dot{q}''_x = -k\frac{T_2 - T_1}{L} = k\frac{\Delta T}{L}$$

Ο συνολικός ρυθμός μεταδόσεως θερμότητας μέσα από την επιφάνεια (θερμορροή μέσα από την εν λόγω επιφάνεια) προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με το εμβαδόν της επιφάνειας, δηλαδή:

$$\dot{q}_x = \dot{q}''_x \cdot A = -kA\frac{dT}{dx}$$

Στην καθημερινή ζωή υπάρχουν πολλά φαινόμενα τα οποία συνδέονται με τη μετάδοση θερμότητας με αγωγή. Η απώλεια θερμότητας από το εσωτερικό του σπιτιού προς το εξωτερικό περιβάλλον το χειμώνα πραγματοποιείται με αγωγή μέσα από τους τοίχους και τα παράθυρα. Η μετάδοση θερμότητας από το μάτι της κουζίνας προς το μαγειρικό σκεύος πραγματοποιείται με αγωγή.

Π.Β.3.3 Συναγωγή.

Η συναγωγή αναφέρεται στη μετάδοση θερμότητας σε κινούμενα ρευστά. Στην περίπτωση αυτή, συνυπάρχουν δύο μηχανισμοί μεταδόσεως ενέργειας. Ο πρώτος είναι η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων (όπως στην περίπτωση της αγωγής), ενώ ο δεύτερος μηχανισμός συνδέεται με τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού. Κατά τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού, τα στοιχειώδη σωματίδια που απαρτίζουν τα στοιχεία του ρευστού, μεταφέρουν μαζί με τη μάζα τους και τη θερμική ενέργεια, που σχετίζεται με την τυχαία μεταφορική κίνησή τους, την εσωτερική περιστροφή τους και την ταλάντωσή τους. Έτσι, η συνολική μετάδοση θερμικής ενέργειας είναι το άθροισμα της μεταδόσεως λόγω συγκρούσεων (διάχυση) και της αντίστοιχης λόγω της μεταφοράς της θερμικής ενέργειας των σωματιδίων μέσω της μακροσκοπικής κινήσεως του ρευστού.

Μεταδίδεται κυρίως θερμότητα με συναγωγή όταν στερεή επιφάνεια έρχεται σε επαφή με κινούμενο ρευστό ή το αντίθετο. Γνωρίζομε από τη μηχανική των ρευστών ότι στην περιοχή της επαφής του ρευστού με τη στερεή επιφάνεια αναπτύσσεται το λεγόμενο οριακό στρώμα ταχύτητας (ή υδραυλικό οριακό στρώμα), ως αποτέλεσμα της δράσεως των δυνάμεων συνεκτικότητας στο εσωτερικό του ρευστού. Στο οριακό στρώμα εμφανίζεται ομαλή μετάβαση από την ταχύτητα της ροής μακριά από το τοίχωμα (ταχύτητα ελεύθερης ροής) στη μηδενική ταχύτητα, στην επιφάνεια του ακίνητου τοιχώματος. Στην περίπτωση κινούμενης επιφάνειας, η ταχύτητα της ροής πάνω στην επιφάνεια ισούται, ως γνωστόν, με την ταχύτητα της επιφάνειας (συνθήκη μη

ολισθήσεως). Το πάχος του οριακού στρώματος αυξάνεται κατάντη της ροής.

Σε περίπτωση διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της στερεής επιφάνειας και του ρευστού εμφανίζεται και το λεγόμενο ***θερμικό οριακό στρώμα*** (***thermal boundary layer***), του οποίου το πάχος μπορεί να είναι ίσο, μικρότερο ή μεγαλύτερο από αυτό του υδραυλικού οριακού στρώματος. Εντός του θερμικού οριακού στρώματος εμφανίζεται ομαλή μεταβολή της θερμοκρασίας από τη θερμοκρασία της στερεής επιφάνειας T_s μέχρι τη θερμοκρασία της κύριας ροής T_o. Στην περίπτωση που η πρώτη είναι μεγαλύτερη της δεύτερης, η ροή θερμότητας πραγματοποιείται από τη θερμή επιφάνεια προς το ψυχρότερο ρευστό (σχ. Π.Β.3β).

Επειδή στην περιοχή κοντά στο στερεό τοίχωμα οι ταχύτητες της ροής είναι πολύ μικρές, ο μηχανισμός της διαχύσεως είναι αυτός που επικρατεί. Αντίθετα, μακριά από το τοίχωμα, όπου έχουν αυξηθεί οι ταχύτητες της ροής, επικρατεί η μετάδοση θερμότητας με μεταφορά. Ειδικά πάνω στο τοίχωμα, όπου η σχετική ταχύτητα της ροής είναι μηδέν, υπάρχει αποκλειστικά μετάδοση θερμότητας με διάχυση.

Η ροή που προκαλεί τη συναγωγή θερμότητας μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες ή στην ίδια τη μετάδοση της θερμότητας. Έτσι, στην περίπτωση των σωμάτων κεντρικής θερμάνσεως ενός σπιτιού, ο θερμαινόμενος (αρχικά μόνο με αγωγή) ακίνητος αέρας, λόγω μειώσεως της πυκνότητάς του ανέρχεται, προκαλώντας φυσική κυκλοφορία στο εσωτερικό του δωματίου. Η φυσική αυτή κυκλοφορία δίνει την αναγκαία μεταφορική κίνηση για την εμφάνιση της συναγωγής μεταξύ του θερμαντικού σώματος και του αέρα. Ο μηχανισμός της συναγωγής είναι πολύ πιο έντονος από τον αντίστοιχο της αγωγής. Σε αυτήν την περίπτωση έχομε ***συναγωγή με φυσική κυκλοφορία***.

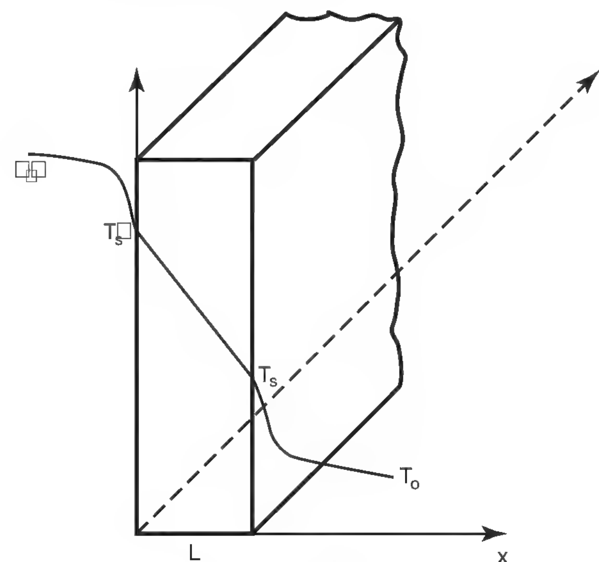
Στην περίπτωση που η ροή του ρευστού συντηρείται από εξωτερικό αίτιο (μία αντλία ή έναν ανεμιστήρα), τότε έχομε μετάδοση θερμότητας μέσω συναγωγής με ***εξαναγκασμένη κυκλοφορία***. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η θέρμανση του αέρα στο πιστολάκι των μαλλιών, ή η ψύξη μιας θερμής επιφάνειας με τη χρήση ανεμιστήρα. Συνήθως μαζί με την εξαναγκασμένη κυκλοφορία συνυπάρχει και φυσική κυκλοφορία, λόγω των αντωτικών δυνάμεων από τη μεταβολή των πυκνοτήτων, μόνο που το πρώτο φαινόμενο είναι πιο έντονο στις περισσότερες των περιπτώσεων.

Συνήθως η συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή αναφέρεται στην εσωτερική θερμική ενέργεια, η οποία συνδέεται με τη θερμική του κίνηση. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, όπου η μετάδοση θερμότητας συνοδεύεται από αλλαγή φάσεως, δηλαδή, περιλαμβάνει και τη λανθάνουσα θερμότητα αλλαγής φάσεως. Ένα παράδειγμα της παραπάνω περιπτώσεως είναι η μετάδοση θερμότητας προς το ρευστό από τις φυσαλίδες ατμού που ανέρχονται προς την επιφάνεια, σε δοχείο με νερό που βράζει. Οι φυσαλίδες προκαλούν ισχυρή κίνηση εντός του ρευστού, με αποτέλεσμα να εντείνεται η συναγωγή. Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή όταν υπάρχει και αλλαγή φάσεως είναι πολύ πιο έντονη από την απλή περίπτωση της συναγωγής.

Το φαινόμενο της συναγωγής εξαρτάται από τη ροή του ρευστού (και τα χαρακτηριστικά της) και από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού και της στερεής επιφάνειας. Μια γενική σχέση που περιγράφει τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι ο ***νόμος του Newton για τη συναγωγή***, ο οποίος δίνει την πυκνότητα ροής θερμότητας (σχ. Π.Β.3β):

$$\dot{q}''_x = h(T_s - T_o)$$

Ο συντελεστής h ονομάζεται ***συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας με συναγωγή*** και δίδεται σε $W/(m^2\ K)$. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος της ροής, τη μορφή της επιφάνειας και τα θερμοδυναμικά και ρευστομηχανικά χαρακτηριστικά του ρευ-



Σχ. Π.Β.3β.
Μονοδιάστατη συναγωγή θερμότητας στις δύο πλευρές επίπεδου τοίχου.

στού. Ο προσδιορισμός του συνήθως απαιτεί σοβαρές γνώσεις ρευστομηχανικής, ενώ για τυπικές ροές η τιμή του βρίσκεται από πίνακες και διαγράμματα.

Ο συνολικός ρυθμός μεταδόσεως θερμότητας μέσα από την επιφάνεια (θερμορροή μέσα από την εν λόγω επιφάνεια) προκύπτει πολλαπλασιάζοντας με το εμβαδόν της επιφάνειας, δηλαδή:

$$\dot{q}_x = \dot{q}''_x \cdot A = Ah(T_s - T_o)$$

Π.Β.3.4 Θερμική ακτινοβολία.

Κάθε σώμα (στερεό, υγρό ή αέριο), το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία διαφορετική από 0 K, εκπέμπει θερμική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία (σε μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - φωτονίων) δημιουργείται με αλλαγές στην ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων των ατόμων του σώματος. Σε αντίθεση με τους άλλους δύο μηχανισμούς μεταδόσεως θερμότητας (αγωγή και συναγωγή), η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη ύλης, αλλά μπορεί να γίνεται και εν κενώ (στην πραγματικότητα η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται πιο αποδοτικά εν κενώ). Στην παρούσα φάση, θα ασχοληθούμε με ακτινοβολία μεταξύ στερεών επιφανειών και δεν θα εξετάσομε τις περιπτώσεις ακτινοβολίας από και προς υγρά και αέρια σώματα.

Ας θεωρήσομε τη στερεή εξωτερική επιφάνεια ενός σώματος. Η ακτινοβολία που εξέρχεται από την επιφάνεια παράγεται στο εσωτερικό του σώματος και ο ρυθμός, με τον οποίο η ενέργεια εξέρχεται από μοναδιαίο εμβαδόν της επιφάνειας καλείται ***πυκνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας E***, ενώ η μέγιστη τιμή της E_b δίδεται από το νόμο ***Stefan – Boltzman*** ως:

$$E_b = \sigma T_s^4$$

όπου T_s η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας (σε K) και σ η σταθερά των Stefan - Boltzmann [$\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W/(m^{2}K^4)].

Η επιφάνεια που εκλύει τη μέγιστη αυτή ισχύ ακτινοβολίας ονομάζεται ***μέλαν σώμα*** (***blackbody***). Σε μία πραγματική επιφάνεια η ακτινοβολούσα ισχύς είναι προφανώς μικρότερη για την ίδια θερμοκρασία και δίδεται:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4$$

όπου ε η ***ικανότητα εκπομπής*** (***emissivity***) της επιφάνειας, με τιμές μεταξύ 0 και 1. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και δείχνει πόσο προσεγγίζει το μέλαν σώμα.

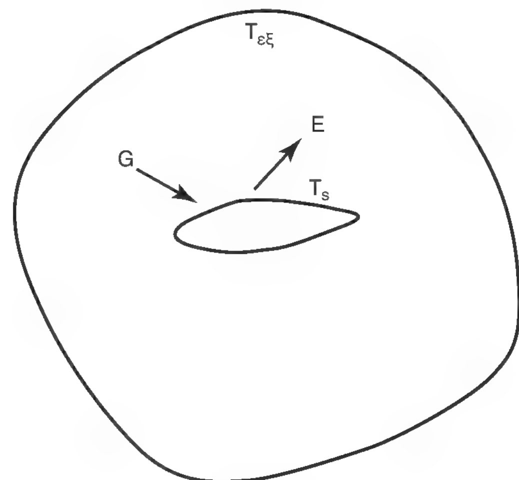
Εκτός από την εκπομπή ακτινοβολίας από μια επιφάνεια, γίνεται και πρόσπτωση ακτινοβολίας που παράγεται εκτός της επιφάνειας. Αν G η ***πυκνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας*** (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας), τότε ένα τμήμα της μπορεί να απορροφηθεί από το σώμα (αυξάνοντας την εσωτερική του ενέργεια), ένα τμήμα μπορεί να ανακλασθεί, ενώ το υπόλοιπο τμήμα μπορεί να διαπεράσει το σώμα (εάν αυτό είναι ημιδιαφανές).

Το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα, περιγράφεται με την ***απορροφητικότητα α***, οπότε ισχύει:

$$G_{\alpha\pi o\rho\rho} = \alpha G$$

Προφανώς, η απορροφητικότητα παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Η απορροφητικότητα της επιφάνειας δεν εξαρτάται μόνο από την επιφάνεια αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας. Η ίδια επιφάνεια μπορεί να έχει διαφορετική απορροφητικότητα σε ακτινοβολίες διαφορετικού μήκους κύματος. Μόνο η απορροφώμενη ακτινοβολία μεταβάλλει την εσωτερική ενέργεια του σώματος, ενώ η ανακλώμενη και η ακτινοβολία που διαπερνά το σώμα δεν έχουν προφανώς καμία επίδραση σε αυτή.

Μία ειδική περίπτωση της μεταδόσεως θερμότητας με ακτινοβολία (με σημαντικές όμως εφαρμογές) αφορά στην περίπτωση μιας μικρής επιφάνειας η οποία περικλείεται ολοκληρωτικά από μία αρκετά μεγαλύτερη επιφάνεια, σε διαφορετική (σταθερή) θερμοκρασία $T_{\varepsilon\xi}$ (σχ. Π.Β.3γ). Μία τέτοια περίπτωση επιφάνειας είναι τα τοιχώματα ενός φούρνου. Στην περίπτωση αυτή, η προσπίπτουσα ακτινοβολία στη μικρή εσωτερική επιφά-



Σχ. Π.Β.3γ.

νεια θερμοκρασίας T_s μπορεί να προσεγγιστεί από την ακτινοβολία που παράγει ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας $T_{εξ}$, δηλαδή:

$$G = \sigma T_{\varepsilon\xi}^4$$

Στην ειδική περίπτωση που υποθέσομε ότι η μικρή επιφάνεια είναι μία ***γκρίζα επιφάνεια***, για την οποία ισχύει: $\alpha = \varepsilon$
η καθαρή ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας που εξέρχεται από τη μικρή εσωτερική επιφάνεια, θα δίδεται:

$$\dot{q}''_{rad} = \frac{\dot{q}_{rad}}{A} = \varepsilon E_b - \alpha G = \varepsilon E_b - \varepsilon G = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{\varepsilon\xi}^4)$$

Η παραπάνω σχέση δίνει την καθαρή ισχύ που απελευθερώνεται από την επιφάνεια ως αποτέλεσμα της ισχύος που απορροφάται και της ισχύος που εκλύεται, λόγω της υπάρχουσας διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής και της περικλείουσας επιφάνειας. Η θερμική ισχύς που ακτινοβολείται συχνά εκφράζεται σε μορφή αντίστοιχη με αυτή που μεταδίδεται με συναγωγή, δηλαδή:

$$\dot{q}_{rad} = h_{rad} A (T_s - T_{\varepsilon\xi})$$

όπου h_{rad} ο ***συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας με ακτινοβολία***, ο οποίος δίδεται:

$$h_{rad} \equiv \varepsilon\sigma(T_s + T_{\varepsilon\xi})(T_s^2 + T_{\varepsilon\xi}^2)$$

Προφανώς ο συντελεστής μεταδόσεως θερμότητας με ακτινοβολία μεταβάλλεται ισχυρά με τη θερμοκρασία (ουσιαστικά αυτό που γίνεται με τις παραπάνω σχέσεις είναι μία γραμμικοποίηση της σχέσεως που δίνει τη μεταδιδόμενη με ακτινοβολία ισχύ, στην περιοχή των θερμοκρασιών της μικρής εσωτερικής επιφάνειας και της περικλείουσας επιφάνειας). Η παραπάνω μοντελοποίηση είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις που έχομε ταυτόχρονη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία και συναγωγή.

Π.Β.3.5 Μετάδοση θερμότητας στις εμβολοφόρες ΜΕΚ.

Στις εμβολοφόρες ΜΕΚ συναντώνται και οι τρεις μηχανισμοί μεταδόσεως θερμότητας. Οι απώλειες ισχύος μέσω της μεταδόσεως θερμότητας είναι σημαντικό τμήμα της συνολικής παραγόμενης ισχύος στη μηχανή και επηρεάζουν σημαντικά το συνολικό βαθμό αποδόσεώς της. Εκτός αυτού, η ικανοποιητική λειτουργία των συστημάτων απαγωγής θερμότητας της μηχανής είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή και ασφαλή της λειτουργία, ενώ επηρεάζει σημαντικά και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

Η θερμότητα μεταφέρεται από το εσωτερικό του κυλίνδρου κατά την καύση προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου (χιτώνιο, πώμα, έμβολο) με συναγωγή και ακτινοβολία. Όπως φάνηκε από την παραπάνω ανάλυση, η θερμορροή εντείνεται με την αύξηση της διαφοράς της θερμοκρασίας και με την αύξηση των ταχυτήτων της ροής του εργαζόμενου μέσου εντός του κυλίνδρου. Η αύξηση του στροβιλισμού, που είναι απαραίτητη για τη σωστή καύση, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου.

Εντός των μεταλλικών τοιχωμάτων η μετάδοση θερμότητας συντελείται με αγωγή, ενώ στη συνέχεια η θερμότητα μεταφέρεται στο ψυκτικό μέσο (ανάλογα με την περίπτωση λάδι ή νερό) με συναγωγή και ακτινοβολία. Αύξηση της ταχύτητας ροής του ψυκτικού μέσου συντελεί στην απαγωγή θερμότητας με μεγαλύτερους ρυθμούς. Επίσης, μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται από τα εξωτερικά τοιχώματα της μηχανής προς την ατμόσφαιρα με συναγωγή και με ακτινοβολία.

Αντίστοιχοι είναι οι μηχανισμοί και στην περίπτωση των εναλλακτών θερμότητας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση θερμότητας από ένα θερμότερο προς ένα ψυχρότερο ρευστό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Π.Γ.1 Βασικά βοηθητικά μηχανήματα δικτύων.

Τα δίκτυα μεταφοράς ρευστών, που συνδέονται με τις μηχανές του πλοίου συμπεριλαμβάνουν κάποια βασικά βοηθητικά μηχανήματα απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία τους και τη λειτουργία της μηχανής.

Π.Γ.1.1 Φυγοκεντρικοί διαχωριστές πετρελαίου και ελαίου.

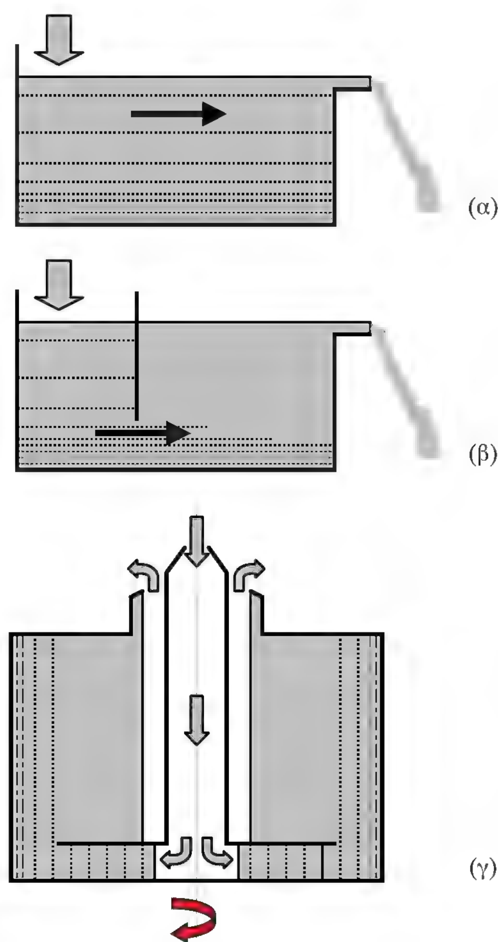
Οι ***φυγοκεντρικοί διαχωριστές*** (ή ***διαχωριστήρες***) ***πετρελαίου*** και ***ελαίου λιπάνσεως*** είναι ταυτόσημοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά με κατάλληλες συνδέσεις. Σκοπός τους είναι ο καθαρισμός του λαδιού ή του πετρελαίου από ξένες στερεές προσμείξεις (ρινίσματα μετάλλου, λασπώδη καθιζήματα, κατάλοιπα καύσεως) και από το νερό. Ο διαχωρισμός του πετρελαίου ή του λιπαντικού από τις προσμείξεις γίνεται με τη βοήθεια της φυγόκεντρης δυνάμεως και στηρίζεται στη διαφορετική πυκνότητα των προσμείξεων.

Είναι γνωστό ότι αν αφήσομε ακάθαρτο λάδι ή πετρέλαιο σε ένα δοχείο για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε θα διαχωριστούν όλες οι ξένες προσμείξεις του λαδιού ή του πετρελαίου. Συγκεκριμένα οι ξένες προσμείξεις, επειδή έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος, θα κατακαθίσουν στον πυθμένα του δοχείου, ενώ το λάδι ή το πετρέλαιο, επειδή είναι ελαφρύτερα, θα καταλάβουν τα ανώτερα στρώματα της υγρής μάζας.

Αυτός είναι ένας τρόπος διαχωρισμού του λαδιού από τις ξένες προσμείξεις, που γίνεται με τη δύναμη της βαρύτητας. Το μειονέκτημά του όμως είναι ότι, επειδή η δύναμη διαχωρισμού (δύναμη βαρύτητας) είναι μικρή, ο απαιτούμενος χρόνος διαχωρισμού είναι μεγάλος. Για να μειωθεί ο χρόνος διαχωρισμού, πρέπει να αυξήσομε τη δύναμη διαχωρισμού.

Ένας τρόπος για να αυξηθεί η απόδοση του διαχωρισμού είναι η χρήση απλής δεξαμενής καθιζήσεως [σχ. Π.Γ.1α(α)]. Στη δεξαμενή καθιζήσεως ο διαχωρισμός δεν πραγματοποιείται με στατικό υγρό, αλλά με κινούμενο. Μέσα στη δεξαμενή μπορεί να υπάρχει κατακόρυφο διάφραγμα, το οποίο αναγκάζει το υγρό, μετά την είσοδό του στη δεξαμενή, να περάσει από κάτω του (και μαζί και τα σωματίδια) [σχ. Π.Γ.1α(β)]. Τα σωματίδια όμως λόγω μεγαλύτερου ειδικού βάρους, αναγκαζόμενα να περάσουν από το κάτω μέρος του διαφράγματος, παραμένουν χαμηλά και καθιζάνουν, ενώ το καθαρισμένο πλέον υγρό ανέρχεται πάλι και εξέρχεται από κατάλληλο υπερχειλιστή στην άλλη άκρη της δεξαμενής, με πολύ μεγάλο βαθμό καθαρότητας.

Η παραπάνω αρχή μπορεί να εφαρμοστεί με μεγαλύτερη απόδοση, αν αυξηθεί τεχνητά η δύναμη βαρύτητας που προκαλεί την καθίζηση. Πρωτοεφαρμόστηκε από τον Gustav De Laval το 1798, στον πρώτο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα συνεχούς ροής [σχ. Π.Γ.1α(γ)]. Στη συγκεκριμένη συσκευή, η ροή



Σχ. Π.Γ.1α.
Αρχή λειτουργίας δεξαμενών καθιζήσεως με ή χωρίς διάφραγμα, και φυγοκεντρικών διαχωριστήρων.

ήταν κατακόρυφη, ενώ η συσκευή σε μορφή κυλινδρικού τυμπάνου περιστρεφόταν συνεχώς. Το υγρό εισερχόταν από το κέντρο με φορά προς τα κάτω. Αφού έφθανε στον πυθμένα, αναγκαζόταν να στραφεί προς τα έξω και πάνω ώστε να περάσει από οριζόντιο διάφραγμα (δίσκο), οπότε οι προσμείξεις και το νερό, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας οδηγούνταν στα εξωτερικά τοιχώματα του τυμπάνου, λόγω της φυγοκεντρίσεως (προσομοιάζοντας με τη συγκέντρωση των προσμείξεων στον πυθμένα της δεξαμενής καθιζήσεως). Το καθαρισμένο πλέον υγρό υπερχείλιζε από την άνω πλευρά του, από περιφερειακή οπή γύρω από τον κεντρικό σωλήνα προσαγωγής του ακάθαρτου υγρού.

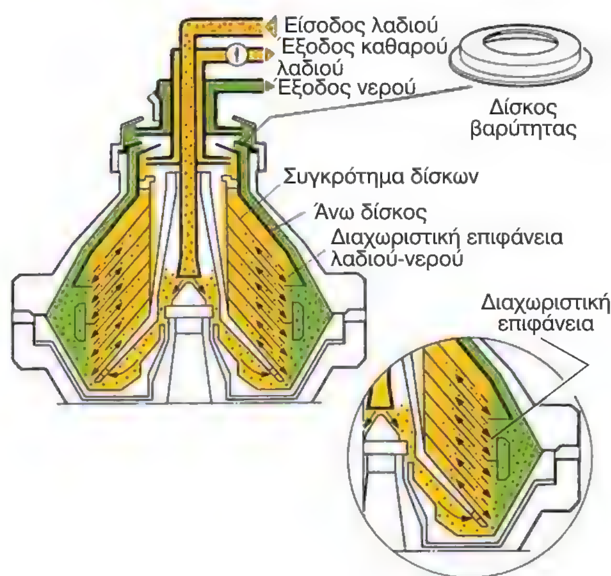
Η παρεμβολή διαδοχικών διαφραγμάτων, παραλλήλων μεταξύ τους, επιτρέπει την κατακράτηση των σωματιδίων, που διαφεύγουν της καθιζήσεως από το προηγούμενο διάφραγμα, αυξάνοντας έτσι, σημαντικά την αποτελεσματικότητα του καθαρισμού, επιτρέποντας την αύξηση της ταχύτητας της ροής.

Αρχικά, ο φυγοκεντρικός διαχωριστήρας εφαρμόστηκε στη βιομηχανία γάλακτος, ενώ στη βαριά βιομηχανία βρήκε εφαρμογή μετά το 1898. Η επόμενη κίνηση ήταν η εφαρμογή κωνικών δίσκων, η κλίση των οποίων οδηγούσε τα σωματίδια και τα βαρύτερα πρόσθετα προς τον πυθμένα της δεξαμενής, για την εύκολη απομάκρυνσή τους και την αποφυγή της αποφράξεως τών μεταξύ τους διακένων.

Οι διαχωριστήρες που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του πετρελαίου και των λιπαντικών λειτουργούν με την ίδια αρχή. Το λάδι ή το πετρέλαιο αναγκάζεται να διέλθει μέσα από ένα συγκρότημα ταχέως περιστρεφομένων δίσκων (με ταχύτητα περιστροφής της τάξεως των 6000 rpm), όπου ως δύναμη διαχωρισμού χρησιμοποιείται η φυγόκεντρη (αδρανειακή) δύναμη. Η δύναμη αυτή προκαλεί ταχύτητες καθιζήσεως έως και 5000 φορές μεγαλύτερες από αυτές της δυνάμεως της βαρύτητας. Οι δίσκοι έχουν κωνική μορφή και τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλο σε κοινό άξονα περιστροφής (σχ. Π.Γ.1β). Το διάκενο μεταξύ των δίσκων διαχωρισμού, διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο των δίσκων που τοποθετούνται και εξαρτάται από το ειδικό βάρος του πετρελαίου ή του λαδιού που διέρχεται από το διαχωριστή. Κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,5 και 0,6 mm. Το συγκρότημα των δίσκων τοποθετείται εντός κλειστού κελύφους. Μεταξύ των δίσκων και του κελύφους υπάρχει διάκενο, όπου διαχωρίζονται οι προσμείξεις και το νερό από το πετρέλαιο (ή το λάδι αντίστοιχα). Το καύσιμο (ή το λάδι) εισέρχεται κατακόρυφα από τον κεντρικό κοίλο άξονα περιστροφής και διοχετεύεται στη βάση του κλειστού κελύφους. Στη συνέχεια, ανέρχεται προς τα πάνω και αναγκαζόμενο να διέλθει από τα διάκενα των ταχέως περιστρεφομένων δίσκων, το νερό και οι προσμείξεις, αποκτώντας μεγαλύτερη φυγόκεντρη δύναμη, προσκολλώνται στα τοιχώματα του τυμπάνου (και αποβάλλονται), ενώ το καθαρισμένο υγρό εξέρχεται από δακτυλιοειδή οπή περιμετρικά του κεντρικού αγωγού προσαγωγής του ακάθαρτου υγρού.

Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες μέχρι πρόσφατα ήταν διαθέσιμοι σε δύο τύπους, τους ***φυγοκεντρικούς καθαριστήρες*** (purifiers) και τους ***φυγοκεντρικούς διαυγαστήρες*** (clarifiers). Οι πρώτοι εκτελούν διαχωρισμό δύο υγρών φάσεων (πετρέλαιο ή λιπαντικό, νερό) και μίας στερεής (ιζήματα), ενώ οι δεύτεροι εκτελούν διαχωρισμό μίας υγρής φάσεως (πετρέλαιο ή λιπαντικό) και μίας στερεής (ιζήματα - προσμείξεις). Τοποθετούνταν εν σειρά με πρώτους τους καθαριστήρες, για να επιτυγχάνουν υψηλού βαθμού καθαρότητα. Ένας τρίτος διαχωριστήρας τοποθετημένος είτε εν σειρά είτε εν παραλλήλω, χρησιμοποιούνταν για εφεδρεία και για τον καθαρισμό του ελαφρού πετρελαίου Diesel.

Οι παραπάνω διαχωριστήρες ήταν ενιαίου τυμπάνου, κάτι που σήμαινε ότι μετά την πάροδο κάποιου χρόνου, η συγκέντρωση ιζημάτων κάλυπτε

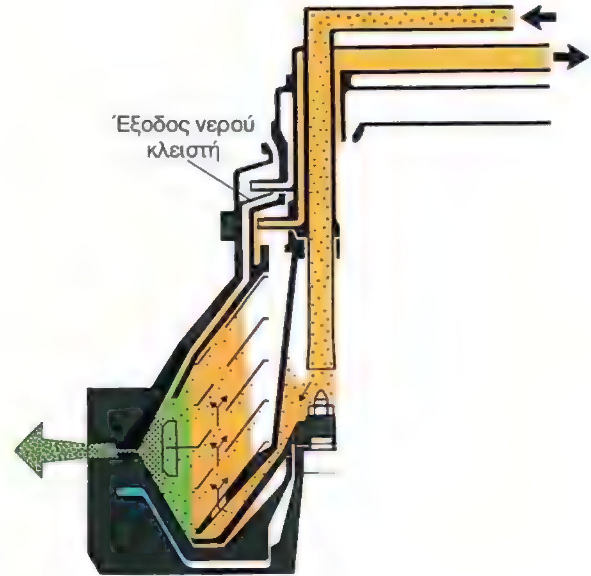


Σχ. Π.Γ.1β.
Σχηματικό διάγραμμα σύγχρονου φυγοκεντρικού διαχωριστήρα. Διακρίνεται ο δίσκος βαρύτητας και η διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ λαδιού και νερού.

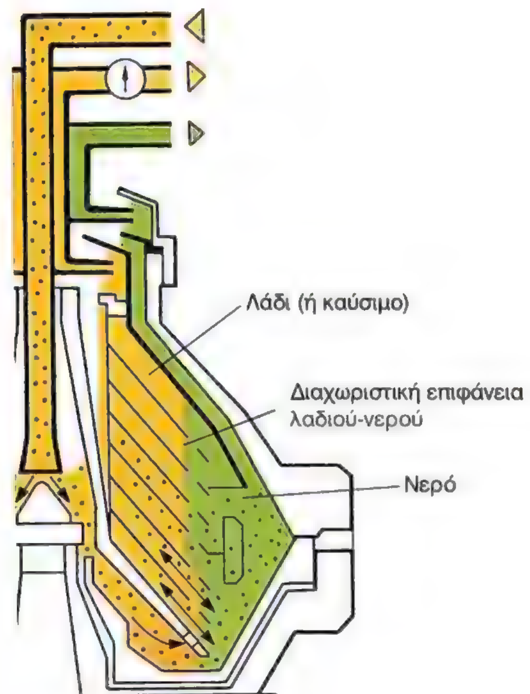
σταδιακά το διάκενο μεταξύ τυμπάνου και δίσκων, με αποτέλεσμα το μπλοκάρισμα της λειτουργίας του. Τότε, απαιτούταν διακοπή της λειτουργίας, εξάρμοση και καθαρισμός του τυμπάνου και των δίσκων και επανασυναρμολόγησή τους. Το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών καθαρισμών στη χρήση ελαφρών κλασμάτων ξεπερνούσε τις επτά ημέρες, ενώ ο χρόνος καθαρισμού κυμαινόταν μεταξύ 2 έως και 4 ωρών ανά συσκευή. Με τη χρήση όμως βαρυτέρων κλασμάτων, με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ακαθαρσίες, ο χρόνος μεταξύ των διαδοχικών καθαρισμών μειώθηκε δραματικά, οπότε αποδείχθηκε ασύμφορη η συγκεκριμένη διαδικασία. Η λύση που δόθηκε (και χρησιμοποιείται πλέον στους σύγχρονους διαχωριστήρες), είναι η υιοθέτηση αυτοκαθαριζομένων τυμπάνων. Το τύμπανο πλέον δεν είναι ενιαίο αλλά διαιρούμενο σε δύο τμήματα (σχ. Π.Γ.1γ), άνω και κάτω. Η αρχή λειτουργίας του είναι η ίδια, με τη διαφορά ότι κατάλληλοι αισθητήρες ενεργοποιούν το άνοιγμα του τυμπάνου και την αυτόματη απομάκρυνση του συγκεντρωθέντος ιζήματος. Ο παραπάνω αυτοματισμός μεγάλωσε το χρόνο μεταξύ διαδοχικών χειρονακτικών καθαρισμών, μειώνοντας το κόστος λειτουργίας, και επέτρεψε τον ασφαλή καθαρισμό βαρυτέρων κλασμάτων πετρελαίου.

Ο διαχωρισμός των φάσεων τού προς καθαρισμό υγρού πραγματοποιείται στα διάκενα μεταξύ των περιστρεφομένων δίσκων. Για δεδομένη απόσταση μεταξύ δίσκων, συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής και δεδομένο υγρό (πυκνότητα και ιξώδες) υπάρχει περιορισμός στη μέγιστη παροχή υγρού, προκειμένου να επιτυγχάνεται σωστός διαχωρισμός. Με καθορισμένη την παροχή υγρού, η απόδοση του διαχωρισμού είναι συνάρτηση της θέσεως της ελεύθερης επιφάνειας μεταξύ νερού και πετρελαίου (ή λαδιού). Αυτή πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένη ακτίνα μεταξύ των δίσκων και του τυμπάνου. Πρέπει να βρίσκεται στο εσωτερικό του τελευταίου δίσκου (top disk), περιφερειακά του οποίου απομακρύνεται το νερό. Αν η διαχωριστική επιφάνεια βγει έξω από τα όρια του πρώτου δίσκου, υπάρχει διαρροή πετρελαίου μαζί με το αποβαλλόμενο νερό. Αν η διαχωριστική επιφάνεια πλησιάσει πολύ τους περιστρεφόμενους δίσκους, αδυνατεί να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά ο καθαρισμός του υγρού (σχ. Π.Γ.1δ).

Η θέση της διαχωριστικής επιφάνειας ελέγχεται από την εσωτερική διάμετρο δακτυλίου-διαφράγματος, που προσαρμόζεται στην έξοδο νερού (δίσκος βαρύτητας - gravity disk) (σχ. Π.Γ.1β). Ανάλογα με την πυκνότητα, τη θερμοκρασία, το ιξώδες και την παροχή του καυσίμου (ή του λαδιού) υπάρχει και διαφορετικός δακτύλιος, που προσαρμόζεται για τη ρύθμιση της διαχωριστικής επιφάνειας. Ο παραπάνω μηχανισμός ελέγχου της διαχωριστικής επιφάνει-



Σχ. Π.Γ.1γ
Σχηματικό διάγραμμα σύγχρονου φυγοκεντρικού διαχωριστήρα διαιρούμενου τυμπάνου.



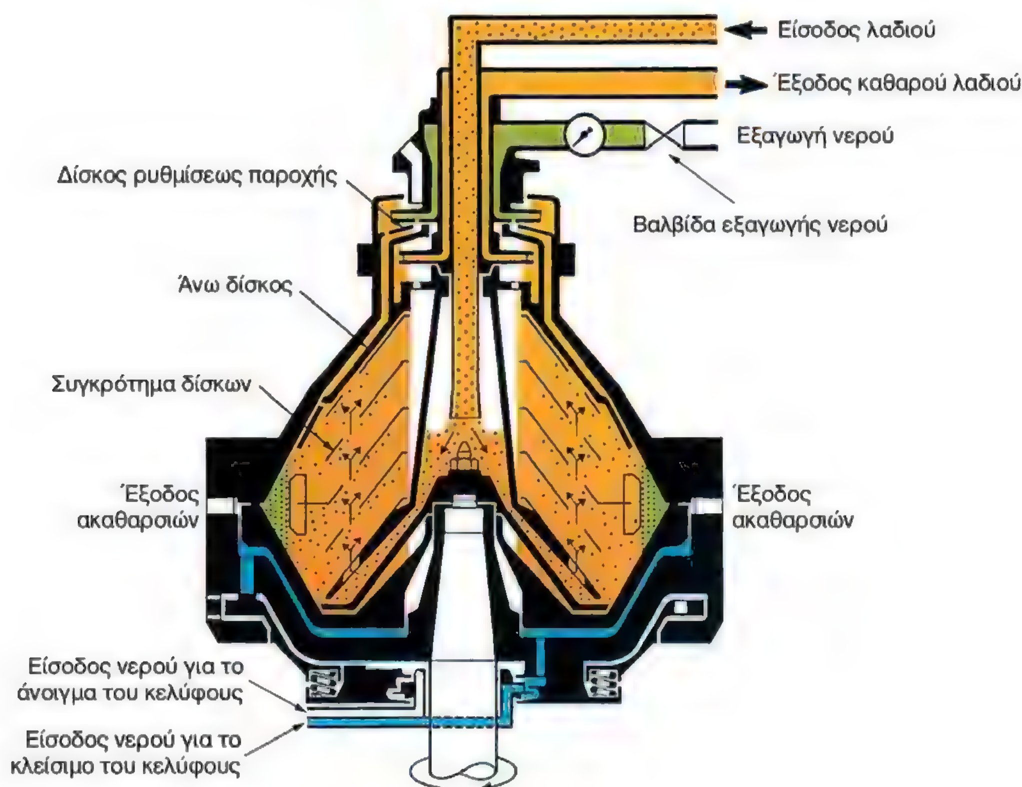
Σχ. Π.Γ.1δ
Εισχώρηση της διαχωριστικής επιφάνειας εντός των δίσκων, με αποτέλεσμα τον ανεπιτυχή διαχωρισμό.

ας εξαρτάται από την πυκνότητα του προς καθαρισμού υγρού, με ανώτερο όριο τα 991 kg/m^3. Ως αποτέλεσμα, δεν μπορούν να διαχωριστούν καύσιμα με μεγαλύτερη από την παραπάνω πυκνότητα, διότι σχηματίζουν ασταθή διαχωριστική επιφάνεια.

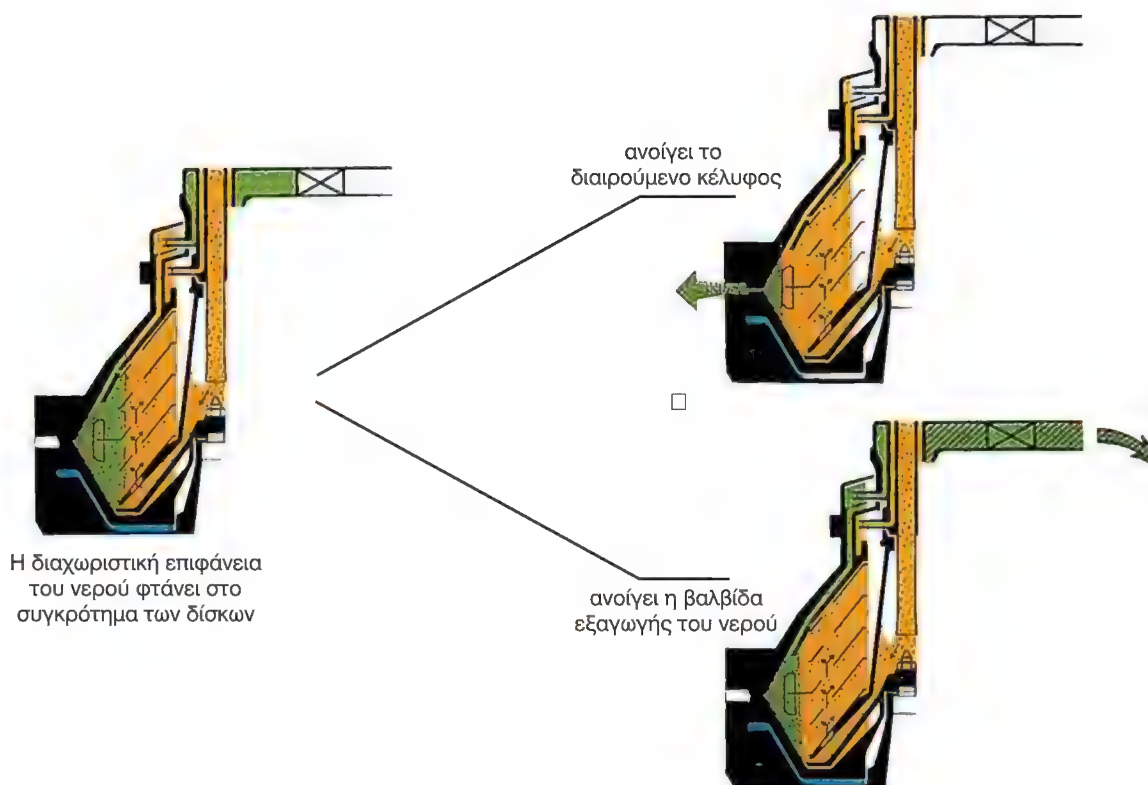
Η σύγχρονη τάση (για μείωση του κόστους λειτουργίας των πετρελαιομηχανών) είναι η χρησιμοποίηση καυσίμων κατώτερης ποιότητας, με πυκνότητα μεγαλύτερη από 991 kg/m^3. Η πυκνότητα αυτή μπορεί να υπερβεί την πυκνότητα του νερού και να φθάσει 1013 kg/m^3 στους 15^o C. Για τον ασφαλή διαχωρισμό των καυσίμων αυτών χρησιμοποιείται ειδική κατηγορία διαχωριστών. Αυτοί δεν χρησιμοποιούν διαφράγματα (gravity disks) για τον καθορισμό της θέσεως της διαχωριστικής επιφάνειας, αλλά κατάλληλους ανιχνευτές νερού στην έξοδο του καθαρισμένου υγρού. Η έξοδος του νερού ελέγχεται από ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ταχείας αποκρίσεως. Αν το περιεχόμενο νερό στο καθαρισμένο υγρό υπερβεί καθορισμένο όριο, ο ανιχνευτής ενεργοποιεί τον αντίστοιχο αυτοματισμό και αυτός εκτελεί απολάσπωση. Η απολάσπωση εκτελείται είτε με στιγμιαίο άνοιγμα-κλείσιμο του τυμπάνου είτε με άνοιγμα της βαλβίδας στην έξοδο του νερού. Είναι λοιπόν ο αυτοματισμός αυτός, που καθορίζει τον τρόπο και το χρόνο της απολασπώσεως, σε συνάρτηση με την ποιότητα του πετρελαίου. Το σύστημα αυτό επιτρέπει τον καθαρισμό πετρελαίων διαφόρων ποιοτήτων, χωρίς την ανάγκη ρυθμίσεων ή μετατροπών, πριν ή και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του (ανεξάρτητα από διακυμάνσεις πυκνότητας, ιξώδους, παροχής κ.λ.π.) (σχ. Π.Γ.1ε και Π.Γ.1στ).

Η χρήση αυτομάτων διαχωριστήρων επέτρεψε την κατάργηση των δύο διαφορετικών τύπων διαχωριστήρων, οπότε στις σύγχρονες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται δύο διαχωριστήρες όμοιοι μεταξύ τους, από τους οποίους ο ένας είναι σε χρήση, ενώ ο δεύτερος είναι εφεδρικός ή χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του πετρελαίου Diesel (ή για λιπαντικό). Η σύνδεση των δύο διαχωριστήρων μπορεί με κατάλληλη συνδεσμολογία να γίνεται και εν σειρά και εν παραλλήλω.

Η απλότητα της αρχής λειτουργίας των φυγοκεντρικών διαχωριστών, η συμπαγής κατασκευή τους



Σχ. Π.Γ.1ε.
Σύγχρονος φυγοκεντρικός διαχωριστής διαιρούμενου τυμπάνου με αισθητήρες νερού για τη ρύθμιση της διαχωριστικής επιφάνειας λαδιού-νερού ή καυσίμου-νερού.



Σχ. Π.Γ.1στ.

Εναλλακτική λειτουργία των συγχρόνων διαχωριστών. Η αποβολή γίνεται είτε με άνοιγμα των τυμπάνων είτε με άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής νερού, ελεγχόμενη από τον αισθητήρα νερού στο καύσιμο (ή στο λάδι).

(σχ. Π.Γ.1ζ και Π.Γ.1η), η αξιοπιστία τους και η υψηλή τους απόδοση, επέβαλε τη χρήση τους για τον καθαρισμό καυσίμων και λιπαντικών για εμβολοφόρες ΜΕΚ και αεριοστροβίλους, υδραυλικά λάδια, λάδια μετασχηματιστών, ορυκτέλαια κ.λ.π.

Π.Γ.1.2 Φίλτρα πετρελαίου.

Τα φίλτρα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, τα ***διηθητικά*** και τα ***μεταλλικά***. Τα διηθητικά φίλτρα αποτελούνται από περίβλημα κυλινδρικού συνήθως σχήματος, εντός του οποίου τοποθετείται η γόμωση. Η γόμωση αποτελείται από ειδικά υλικά (νήματα, υφάσματα, φυτικές ίνες), τα οποία έχουν την ικανότητα να παρακρατούν σωματίδια μεγαλύτερα από συγκεκριμένο μέγεθος, ενώ επιτρέπουν την ελεύθερη δίοδο του πετρελαίου. Όταν η γόμωση κορεσθεί από ακαθαρσίες, αντικαθίσταται (σχ. Π.Γ.1θ και Π.Γ.1ι).

Τα μεταλλικά φίλτρα αποτελούνται από διάτρητους δίσκους ή μεταλλικά πλέγματα, τοποθετημένα επάλληλα. Το διερχόμενο πετρέλαιο εναποθέτει τις προσμείξεις του πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες. Το μέγεθος των διακένων μεταξύ των επαλλήλων δίσκων και οι διάμετροι των οπών σε κάθε δίσκο ή πλέγμα, καθορίζουν το μέγεθος των παρακρατουμένων σωματιδίων και το βαθμό καθαρότητας του εξερχόμενου πετρελαίου.

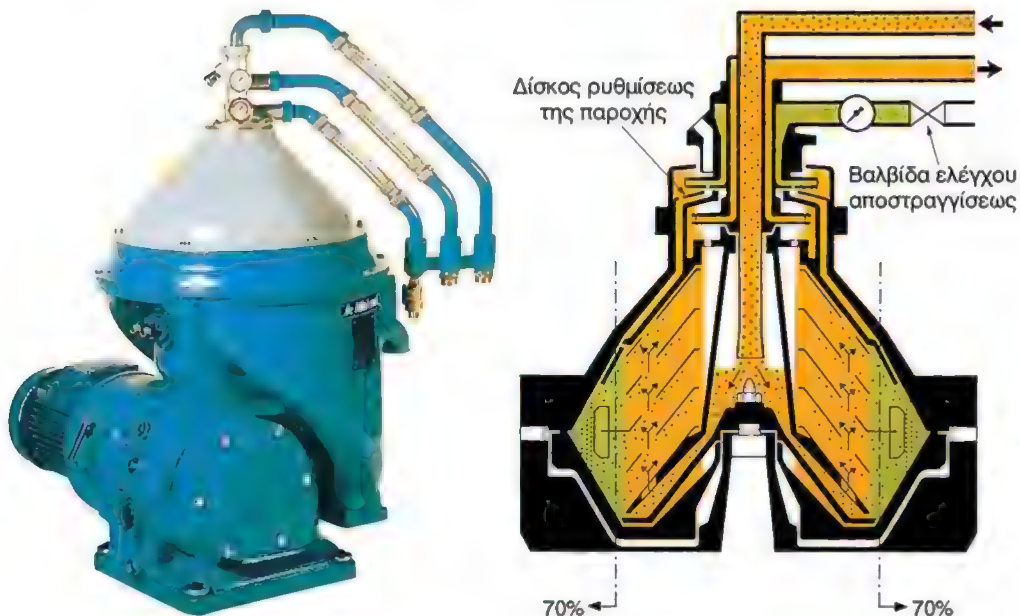
Τα μεταλλικά φίλτρα είναι δυνατόν να κατασκευάζονται με δυνατότητα αυτοκαθαρισμού. Στην περίπτωση αυτή, οι επάλληλοι δίσκοι είναι τοποθετημένοι σε άξονα με δυνατότητα περιστροφής, ενώ ανάμεσα από τους δίσκους περνούν ελάσματα (σαν χτένια). Όταν συσσωρευτεί μεγάλη ποσότητα ακαθαρσιών στους δίσκους (γίνεται αντιληπτό από την πτώση της πιέσεως στην έξοδο του φίλτρου), εκτελείται χειροκίνητα (μέσω χειρομοχλού) περιστροφή του άξονα των δίσκων, οπότε τα ελάσματα καθαρίζουν τις επικαθήσεις. Οι επικαθήσεις κατακάθονται στο κάτω μέρος του περιβλήματος του φίλτρου και στη συνέχεια, χειροκίνητα εξάγονται προς τη δεξαμενή ακαθάρτων. Εντός του περιβλήματος, συντελείται και μερικός διαχωρισμός του τυχόν περιεχόμενου νερού, το οποίο απομακρύνεται με τον ίδιο τρόπο.

Π.Γ.1.3 Φίλτρα λαδιού.

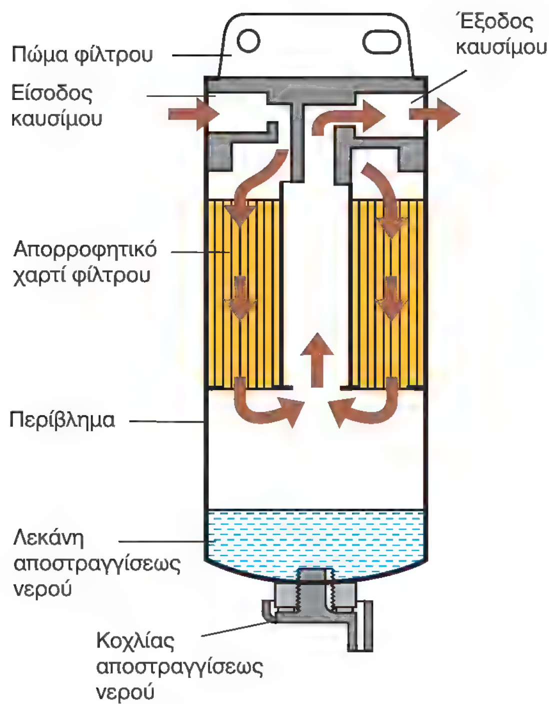
Οι βασικότεροι τύποι φίλτρων λαδιού συνοψίζονται στους εξής:

Δεξαμενή νερού λειτουργίας
Καθαρό νερό
Πίνακας ελέγχου
Πίνακας εκκινήσεως
Πνευματικός επενεργητής
Συμπιεσμένος αέρας
Καθαρό λάδι
Προθερμαντήρας
Είσοδος λαδιού
Διακόπτης υψηλής πιέσεως
Αντλία λαδιού
Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες νερού
Διακόπτης χαμηλής πιέσεως
Ανακύκλωση λαδιού
Μονάδα ισχύος του προθερμαντήρα
Ηλεκτροκινητήρας
Ρυθμιστική βαλβίδα
Τρίοδος ρυθμιστική βάνα με πνευματικό έλεγχο
Διακόπτης εκτάκτου ανάγκης
Φυγοκεντρικός διαχωριστήρας
Μανόμετρο
Ροόμετρο
Αποστράγγιση νερού
Αισθητήρας νερού
Εύκαμπτος σωλήνας
Εξαγωγή ακαθάρτων

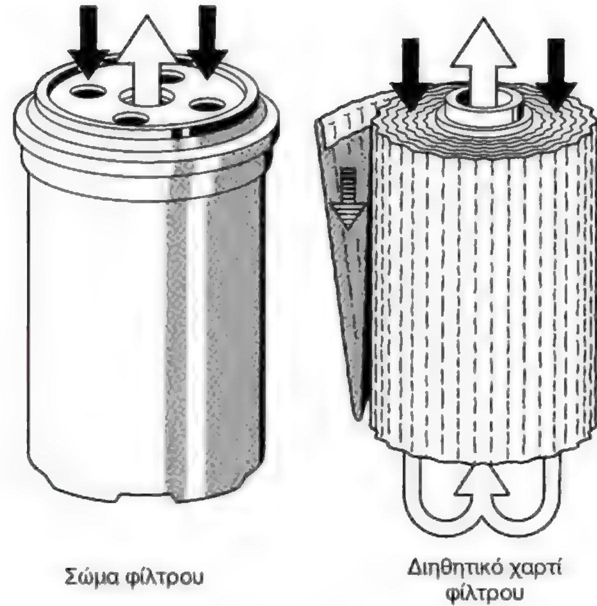
Σχ. Π.Γ.1ζ.
Εγκατάσταση σύγχρονου φυγοκεντρικού διαχωριστήρα.



Σχ. Π.Γ.1η.
Εξωτερική μορφή και τομή σύγχρονου φυγοκεντρικού διαχωριστήρα.



Σχ. Π.Γ.1θ.
Διηθητικό φίλτρο πετρελαίου.



Σχ. Π.Γ.1ι.
Περίβλημα και γόμωση διηθητικού φίλτρου πετρελαίου.

α) Μεταλλικά φίλτρα.

Είναι αντίστοιχα με τα μεταλλικά φίλτρα πετρελαίου, που έχουν περιγραφεί στην παράγραφο Π.Γ.1.2.

β) Δικτυωτά - συρμάτινα φίλτρα.

Το πλέγμα τους κατασκευάζεται από ανοξείδωτο σύρμα. Η πορεία του λαδιού και η καθαριστική τους ικανότητα είναι αντίστοιχη με αυτή των μεταλλικών.

Η καθαριστική ή διηθητική ικανότητα των φίλτρων μετρείται σε microns (1 micron = 0,0001 mm), (25 microns = 0,001"). Καλός καθαρισμός του λαδιού εξασφαλίζεται με φίλτρα 25-50 microns (0,001"-0,002"). Ο καθαρισμός του πλέγματος πραγματοποιείται με πλύση με πετρέλαιο και φύσημα με αέρα.

γ) Απορροφητικά φίλτρα.

Τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται μόνο σε μικρές βοηθητικές μηχανές, έχουν καθαριστική ικανότητα 8-25 microns (0,0003" - 0,001") (σχ. Π.Γ.1ια) και διακρίνονται σε:

1) ***Βαμβακερά.*** Το περίβλημά τους είναι μεταλλικό και εσωτερικά έχουν βαμβάκι.

2) ***Τσόχας.*** Τα φίλτρα αυτά είναι όμοια με τα βαμβακερά, αλλά φέρουν στο εσωτερικό τους τσόχα.



Σχ. Π.Γ.1ια.
Διαδοχικά απορροφητικά φίλτρα λαδιού.

3) ***Χάρτου.*** Είναι τα πιο συνηθισμένα και διαθέτουν ικανότητα μέχρι 2 microns. Η ροή του λαδιού στα παραπάνω φίλτρα γίνεται απ' έξω προς τα μέσα.

δ) Διηθητικά φίλτρα.

Είναι παρόμοια με τα διηθητικά φίλτρα πετρελαίου. Αποφεύγεται η χρήση τους, γιατί συγκρατούν τα πρόσθετα του λαδιού.

ε) Μαγνητικά φίλτρα.

Αποτελούνται από μόνιμους μαγνήτες, που συ-

γκρατούν μόνο τα ρινίσματα (γρέζια) του σιδήρου, που προέρχονται από φθορές των τριβομένων επιφανειών. Όλοι οι προηγούμενοι τύποι φίλτρων διαθέτουν στον πυθμένα του κελύφους τους έναν ισχυρό μαγνήτη για τη συγκράτηση των σιδηρούχων ρινισμάτων. Καθαρίζονται χειροκίνητα σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Π.Γ.1.4 Αντλίες.

Οι ***αντλίες*** αποτελούν βασικά μηχανήματα των ναυτικών εγκαταστάσεων. Χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα κυκλοφορίας υγρών για την πρόσδοση ενέργειας στο υγρό, έτσι ώστε να μπορεί να υπερνικήσει τις αντιστάσεις ροής και τις υψομετρικές διαφορές. Η πρόσδοση ενέργειας στο ρευστό γίνεται με την αύξηση της πιέσεως του ρευστού στην έξοδο της αντλίας (κατάθλιψη), με την κατανάλωση μηχανικού έργου.

Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα της μηχανής κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις ***αντλίες θετικής εκτοπίσεως*** και τις ***υδροδυναμικές αντλίες***.

α) Αντλίες θετικής εκτοπίσεως.

Στις ***αντλίες θετικής εκτοπίσεως*** το υγρό μετακινείται από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη με μηχανική μεταβολή του όγκου ενός ή περισσοτέρων θαλάμων. Οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως διακρίνονται στις ***εμβολοφόρες*** και τις ***περιστροφικές***.

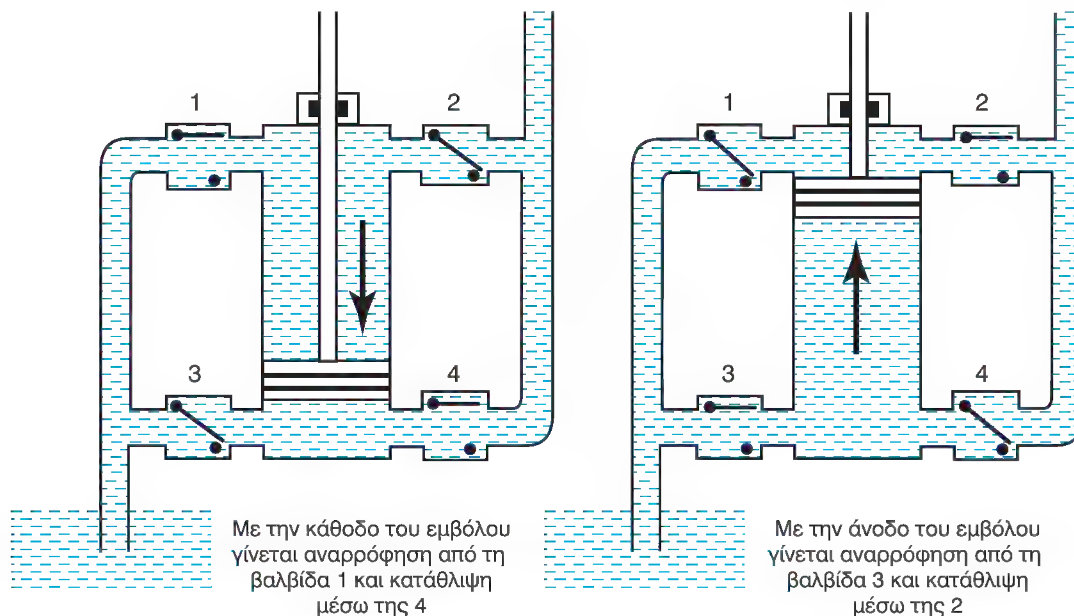
Στις εμβολοφόρες αντλίες ένα έμβολο μηχανικά κινούμενο παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο, όπου οδηγείται το υγρό. Η είσοδος και η έξοδος του υγρού στον κύλινδρο ρυθμίζεται με τη βοήθεια καταλλήλων απλοποιημένων βαλβίδων. Στην περίπτωση που το κατάλληλα διαμορφωμένο έμβολο καταθλίβει υγρό και από τις δύο πλευρές του, η αντλία ονομάζεται ***διπλής ενέργειας*** (σχ. Π.Γ.1ιβ).

Οι εμβολοφόρες αντλίες χρησιμοποιούνται πάρα πολύ στις ναυτικές εγκαταστάσεις ως αντλίες τροφοδοτικού νερού λεβήτων, πετρελαίου, λαδιού λιπάνσεως, υγρού φορτίου, ως αντλίες πυρκαγιάς, εξαντλήσεως κυτών, υγιεινής, πόσιμου νερού κ.λ.π. Οι εμβολοφόρες αντλίες διακρίνονται σε:

– Αναρροφητικές ή καταθλιπτικές.
– Απλής ή διπλής ενέργειας.
– Μονοκύλινδρες ή πολυκύλινδρες.
– Οριζόντιες, κάθετες ή κεκλιμένες.
– Χειροκίνητες, ατμοκίνητες, πετρελαιοκίνητες, ηλεκτροκίνητες και υδραυλικές.

Οι περιστροφικές αντλίες εκτοπίσεως ονομάζονται και ***ογκομετρικές αντλίες***. Εκτοπίζουν το υγρό και το αναγκάζουν να ρέει υπό πίεση.

Η λειτουργία τους είναι ίδια με αυτήν των εμβολοφόρων, με τη διαφορά ότι στις εμβολοφόρες το κινητό μέρος εκτελεί παλινδρομική κίνηση, ενώ στις



Σχ. Π.Γ.1ιβ.
Αρχή λειτουργίας εμβολοφόρου αντλίας διπλής ενέργειας.

περιστροφικές εκτελεί περιστροφική κίνηση. Αποτελούνται κατά κανόνα από κέλυφος, μέσα στο οποίο περιστρέφονται τα κινητά μέρη της αντλίας, με πολύ μικρά διάκενα μεταξύ αυτών και του περιβλήματος. Έτσι το υγρό παγιδεύεται σε μικρούς περιστρεφόμενους ή περιφερόμενους χώρους, που σχηματίζονται μεταξύ κελύφους και στροφείου. Στη συνέχεια συμπιεζόμενο οδηγείται προς την κατάθλιψη (σχ. Π.Γ.1ιγ και Π.Γ.1ιδ). Το στροφείο μπορεί να αποτελείται από ζεύγος οδοντωτών τροχών, κοχλιών, πτερυγίων, λοβών κ.λ.π.

Οι χρήσεις των αντλιών αυτών στα πλοία είναι πολλές και ποικίλες. Χρησιμοποιούνται ως αντλίες πετρελαίου, μεταγγίσεων, αποστραγγίσεως δεξαμενών, αντλίες λαδιού λιπάνσεως και μεταγγίσεώς του κ.λ.π.

Ανάλογα με τον τύπο του στροφείου οι περιστροφικές αντλίες διακρίνονται σε:

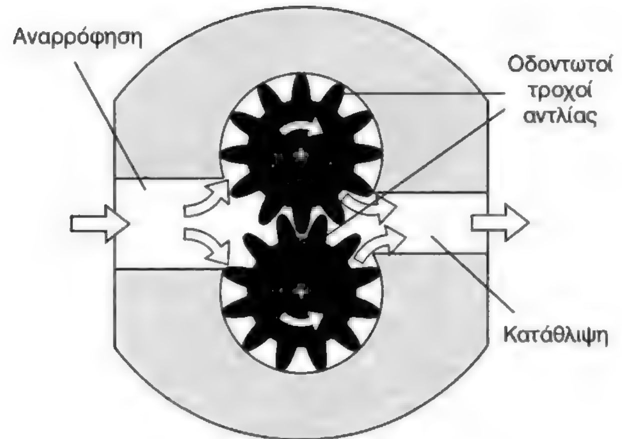
– Αντλίες οδοντωτές με παράλληλα ή ελικοειδή δόντια.
– Κοχλιοειδείς.
– Περιστρεφομένων εμβόλων ή λοβών.
– Πτερυγιοφόρες.
– Με υγρά έμβολα.

Συνδυασμός των εμβολοφόρων και περιστροφικών αντλιών εκτοπίσεως είναι οι ***αντλίες με περιστρεφόμενο σώμα κυλίνδρων*** (θετικής εκτοπίσεως μεταβλητής διαδρομής εμβόλου), οι οποίες χρησιμοποιούνται στα υδραυλικά συστήματα.

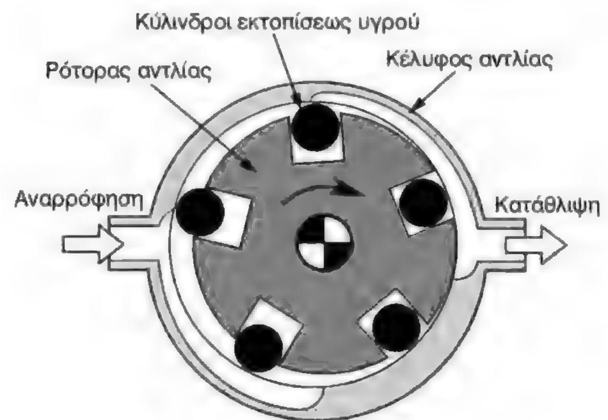
β) Υδροδυναμικές αντλίες.

Οι ***υδροδυναμικές αντλίες***, οι οποίες ονομάζονται και ***περιστροφικές αντλίες ροής***, χαρακτηρίζονται από τελείως διαφορετική δράση σε σχέση με αυτήν των αντλιών θετικής εκτοπίσεως (εμβολοφόρων ή περιστροφικών). Ενώ οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως, εμβολοφόρες ή περιστροφικές, εκτοπίζουν το υγρό με έμβολο, τροχούς, λοβούς κ.λ.π., και αναπτύσσουν ***στατική δράση***, οι υδροδυναμικές αντλίες προσδίδουν αρχικά στο υγρό κινητική ενέργεια (μέσω της περιστροφής της πτερωτής τους), δηλαδή μεγάλη ταχύτητα ροής, την οποία στη συνέχεια μετατρέπουν σε πίεση, αναπτύσσουν δηλαδή ***υδροδυναμική δράση***.

Οι υδροδυναμικές αντλίες διακρίνονται σε ***ακτινικής ροής*** (ή ***φυγοκεντρικές***), ***αξονικής ροής*** και ***μεικτής ροής***. Στις πρώτες, το υγρό κινείται ακτινικά εντός της πτερωτής (εκτός της περιστροφικής του κινήσεως). Στις αντλίες αξονικής ροής το υγρό κινείται παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής της πτερωτής (οι αντλίες αυτές καλούνται και τύπου έλικας ή ελικοφόρες). Στις αντλίες μεικτής ροής (οι οποίες είναι συνδυασμός των δύο προηγουμένων) η ροή του υγρού εμφανίζει και ακτινική και αξονική συνιστώσα.



Σχ. Π.Γ.1ιγ.
Γραναζωτή αντλία θετικής εκτοπίσεως.



Σχ. Π.Γ.1ιδ.
Περιστροφική αντλία θετικής εκτοπίσεως.

Ανάλογα με τον αριθμό των βαθμίδων τους, κατατάσσονται σε μονοβάθμιες, διβάθμιες και πολυβάθμιες. Ανάλογα με τη θέση του άξονα περιστροφής κατατάσσονται σε οριζόντιες, κάθετες και κεκλιμένες. Ανάλογα με τον τρόπο κινήσεώς τους κατατάσσονται σε ατμοκίνητες, πετρελαιοκίνητες, ηλεκτροκίνητες και σε κινούμενες με υδραυλική ενέργεια.

Στις ναυτικές εγκαταστάσεις οι υδροδυναμικές αντλίες χρησιμοποιούνται ως αντλίες συμπυκνωμάτων, τροφοδοσίας λεβήτων, υγρών καυσίμων, πυρκαγιάς, θαλασσινού και πόσιμου νερού κ.λ.π. Οι υδροδυναμικές αντλίες κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο, ορείχαλκο, χάλυβα κ.λ.π., ανάλογα με τη χρή-

ση, για την οποία προορίζονται και τις απαιτήσεις της αντιδιαβρωτικής προστασίας.

1) Υδροδυναμικές αντλίες ακτινικής ροής (φυγοκεντρικές).

Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες υδροδυναμικές αντλίες είναι οι αντλίες ακτινικής ροής (φυγοκεντρικές), εξαιτίας του μεγάλου λόγου πιέσεως που επιτυγχάνουν και της απλής και συμπαγούς κατασκευής τους (σχ. Π.Γ.1ιε).

Το κύριο στοιχείο της φυγοκεντρικής αντλίας είναι η ***πτερωτή***. Αυτή αποτελείται από δίσκο κωνικό στο κέντρο, στον οποίο είναι προσαρμοσμένα τα πτερύγια. Η κωνικότητα στην κεντρική περιοχή της πτερωτής αναγκάζει το υγρό που εισέρχεται αξονικά στην πτερωτή, να κινηθεί ακτινικά. Η περιστροφή της πτερωτής προσδίδει κινητική ενέργεια στο αντλούμενο υγρό. Η πτερωτή βρίσκεται εντός κατάλληλου κελύφους. Το ρευστό εξέρχεται από την πτερωτή ακτινικά, αλλά και με περιφερειακή συστροφή (περιστρεφόμενο). Οδηγείται στη συνέχεια, στο ***διαχύτη***, ο οποίος μετατρέπει μέρος της κινητικής του ενέργειας σε πίεση. Ο διαχύτης είτε είναι μία απλή διάταξη με παράλληλα τοιχώματα (συνήθης περίπτωση), είτε περιλαμβάνει σταθερά πτερύγια, για ομαλότερη κίνηση του υγρού και αποτελεσματικότερη ανάκτηση της πιέσεως (συναντάται στις πολυβάθμιες). Μετά το διαχύτη το υγρό οδηγείται στο ***σπειροειδές κέλυφος*** (σαλίγκαρος), το οποίο μετατρέπει την περιφερειακή κίνηση του υγρού σε αξονική και ένα τμήμα της κινητικής του ενέργειας σε πίεση. Ο κύριος μηχανισμός αυξήσεως της πιέσεως σε μία αντλία ακτινικής ροής είναι η φυγοκέντριση, η σημαντική δηλαδή μεταβολή της ακτινικής αποστάσεως από τον άξονα περιστροφής, κατά τη ροή του υγρού.

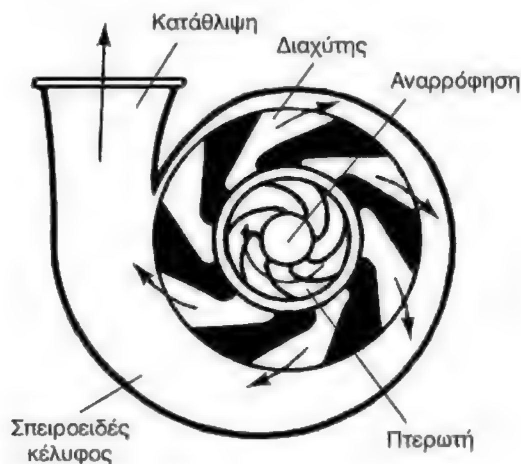
Η φυγοκεντρική αντλία με μία πτερωτή (και τον αντίστοιχο διαχύτη) ονομάζεται ***μονοβάθμια***. Σε μία βαθμίδα μπορούν να επιτευχθούν λόγοι πιέσεως της τάξεως του 10:1. Μεγαλύτεροι λόγοι πιέσεως μπορούν να επιτευχθούν είτε με μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής είτε με μεγαλύτερες ακτίνες πτερωτής, με αύξηση όμως των απωλειών. Συνηθισμένη πρακτική είναι η χρησιμοποίηση πολυβάθμιων αντλιών.

Πολυβάθμια ονομάζεται η αντλία, που στον ίδιο άξονα φέρει πολλές πτερωτές, ουσιαστικά δηλαδή πολλές αντλίες τοποθετημένες σε σειρά. Η κατάθλιψη της πρώτης αντλίας αποτελεί την αναρρόφηση της δεύτερης κ.ο.κ. Ο διαχύτης είναι κατάλληλα διαμορφωμένος έτσι ώστε την ακτινική ροή της εξόδου της πρώτης πτερωτής να την οδηγεί αξονικά στη δεύτερη πτερωτή, με τη χρήση καταλλήλων σταθερών πτερυγίων κ.ο.κ.

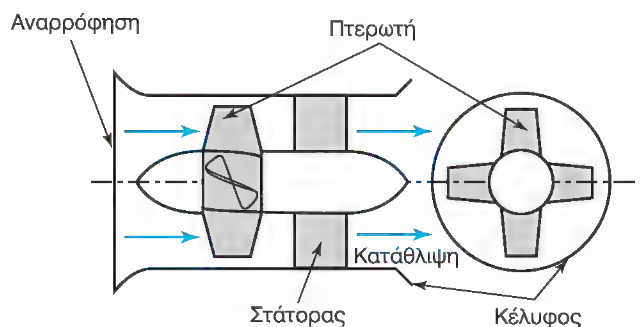
2) Υδροδυναμικές αντλίες αξονικής ροής (ελικοφόρες).

Οι υδροδυναμικές αντλίες αξονικής ροής είναι κατάλληλες για μεγάλες παροχές, με μικρή όμως αύξηση της πιέσεως. Λειτουργούν και αναρροφούν υγρό, μόνον όταν είναι τοποθετημένες χαμηλότερα από τη στάθμη του υγρού που πρόκειται να αντλήσουν. Ο λόγος πιέσεως, που επιτυγχάνουν, είναι μόνο της τάξεως του 1,5:1.

Η πτερωτή της αντλίας είναι απλή έλικα, με την οποία το υγρό δεν φυγοκεντρίζεται, αλλά μετακινείται παράλληλα προς τον άξονα της αντλίας, γι' αυτό και ονομάζεται αξονικής ροής (σχ. Π.Γ.1ιστ). Σε ορισμένες αντλίες αξονικής ροής τοποθετούνται στην αναρρόφηση σταθερά οδηγητικά πτερύγια, τα



Σχ. Π.Γ.1ιε.
Σχηματικό διάγραμμα φυγοκεντρικής αντλίας.



Σχ. Π.Γ.1ιστ.
Σχηματικό διάγραμμα αντλίας αξονικής ροής.

οποία καθιστούν τη ροή του υγρού ομαλή και χωρίς στροβιλισμούς. Συχνά, μετά την πτερωτή τοποθετούνται σταθερά πτερύγια (στάτορας), τα οποία ευθυγραμμίζουν τη ροή (αφαιρούν το στροβιλισμό που δίνει η πτερωτή στο υγρό), μετατρέποντας μέρος της κινητικής ενέργειας του υγρού σε πίεση.

Π.Γ.1.5 Εναλλάκτες θερμότητας.

Οι ***εναλλάκτες θερμότητας*** είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών, τα οποία συνήθως δεν έρχονται σε άμεση επαφή, αλλά ρέουν σε ανεξάρτητα κυκλώματα. Η μετάδοση θερμότητας γίνεται φυσικά από το θερμότερο προς το ψυχρότερο ρευστό. Στην περίπτωση που ο εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του ρευστού, το οποίο μας ενδιαφέρει, ονομάζεται ***θερμαντήρας***, ενώ αν χρησιμοποιείται για την ψύξη του, ονομάζεται ***ψυκτήρας*** ή ***ψυγείο***.

Οι εναλλάκτες θερμότητας διακρίνονται σε ***εναλλάκτες αναμείξεως*** και σε ***εναλλάκτες επιφάνειας***. Οι πρώτοι βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε εγκαταστάσεις παραγωγής ατμού και στηρίζονται στη μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο ρευμάτων της ίδιας ουσίας που αναμειγνύονται μεταξύ τους (π.χ. νερό και ατμός). Ο δεύτερος τύπος, που είναι και ο πιο συνηθισμένος, στηρίζεται στη μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο ρευμάτων τα οποία διαχωρίζονται από στερεή επιφάνεια. Μέσω της επιφάνειας αυτής πραγματοποιείται η μετάδοση θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Οι τελευταίοι διακρίνονται σε ***αυλωτούς, κυψελωτούς*** και ***εναλλάκτες επιπέδων επιφανειών*** (σχ. Π.Γ.1ιζ).

Επειδή τα ρευστά είναι κινούμενα, η μετάδοση θερμότητας στους εναλλάκτες θερμότητας βασίζεται στη συναγωγή. Η μετάδοση θερμότητας από το ένα ρευστό προς το διαχωριστικό τοίχωμα γίνεται με συναγωγή, η μετάδοση θερμότητας εντός του στερεού τοιχώματος πραγματοποιείται με αγωγή, ενώ από την επιφάνεια του στερεού προς το δεύτερο (ψυχρότερο) ρευστό πραγματοποιείται με συναγωγή. Παράλληλα, υπάρχει μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία, η οποία όμως είναι, συνήθως, πολύ ασθενέστερη (στις συνηθισμένες θερμοκρασίες).

Η μετάδοση θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευμάτων. Επειδή κατά τη ροή του θερμότερου ρευστού η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά, ενώ στο ψυχρότερο αυξάνεται σταδιακά, σε παράλληλη ροή ίδιας φοράς, η θερμοκρασιακή τους διαφορά τείνει να μηδενιστεί, οπότε τείνει να μηδενιστεί και ο ρυθμός μεταδόσεως θερμότητας στην έξοδο του εναλλάκτη. Για το λόγο αυτό, οι ροές των δύο ρευμάτων είναι αντίθετες (από την είσοδο του θερμού γίνεται η έξοδος του ψυχρού), για να διατηρείται πάντα ικανή θερμοκρασιακή διαφορά, και η απόδοση του εναλλάκτη να είναι υψηλή.

Π.Γ.1.6 Προθερμαντήρες.

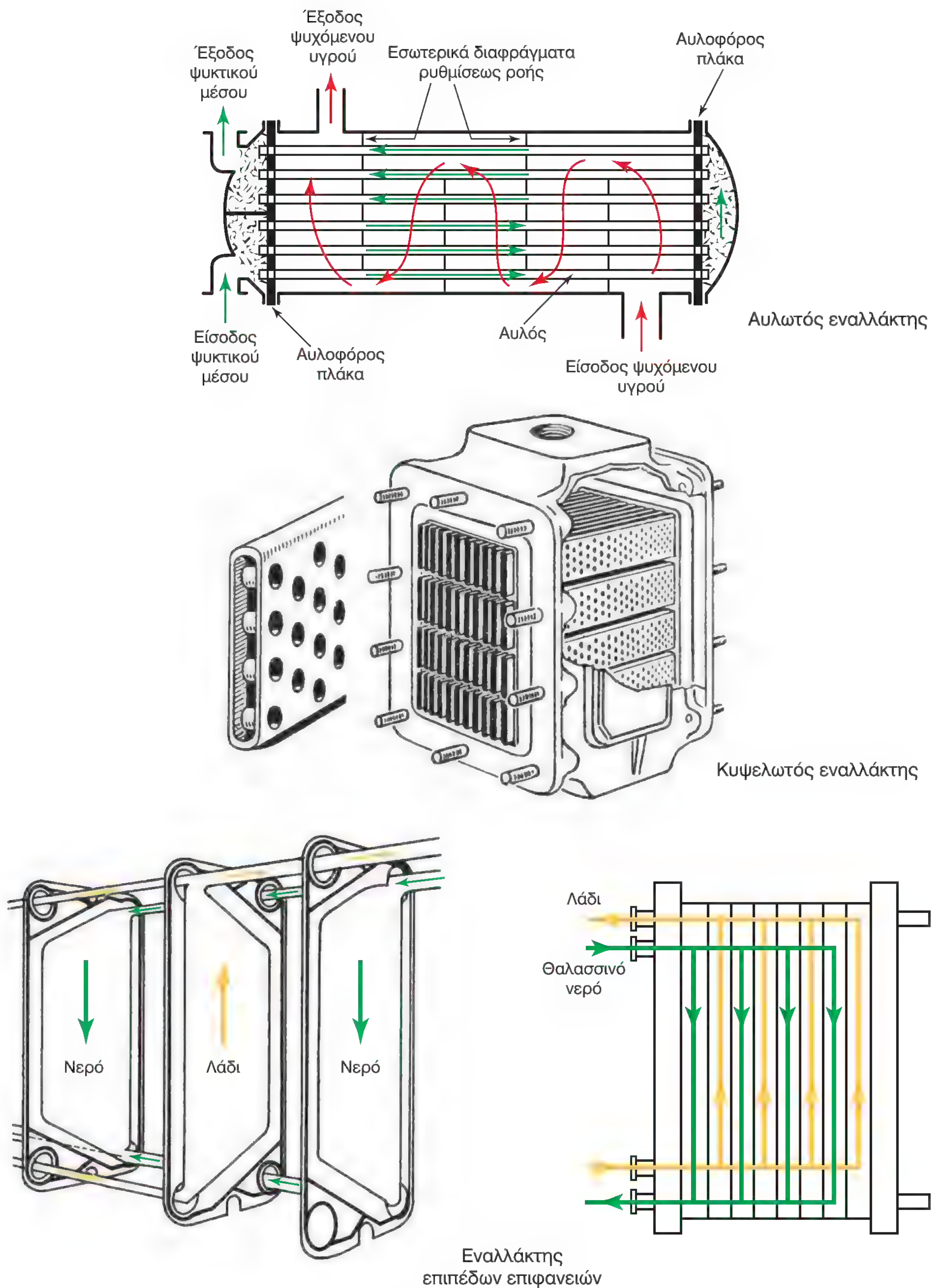
Οι ***προθερμαντήρες*** είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η αύξηση της θερμοκρασίας ενός ρευστού. Χρησιμοποιούνται στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων ως προθερμαντήρες πετρελαίου ΜΕΚ, πετρελαίου λεβήτων, αέρα, λαδιού λιπάνσεως πριν από τον καθαρισμό του, τροφοδοτικού νερού, νερού καθαρισμού δεξαμενών κ.λ.π.

α) Προθερμαντήρες πετρελαίου ΜΕΚ.

Όταν μια ΜΕΚ προορίζεται να λειτουργεί με βαρύ πετρέλαιο, είναι αναγκαία η προθέρμανση του πετρελαίου. Η προθέρμανση απαιτείται, για να μειωθεί το ιξώδες του σε επίπεδα, που να επιτρέπουν την εύκολη άντλησή του από τις δεξαμενές, ιδίως σε ψυχρές περιοχές του πλανήτη, την κυκλοφορία του στις σωληνώσεις με μικρές απώλειες πιέσεως, τον καθαρισμό του με φυγοκέντριση στους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες και κυρίως για να είναι δυνατός ο ψεκασμός του στον κύλινδρο της μηχανής. Η προθέρμανση είναι επίσης αναγκαία και σε συνηθισμένα ακόμη πετρέλαια Diesel, για το σωστό καθαρισμό τους με φυγοκέντριση σε φυγοκεντρικά καθαριστήρια.

Η προθέρμανση του πετρελαίου συντελείται με δύο μεθόδους. Η πρώτη περιλαμβάνει εναλλάκτες θερμότητας με κυκλοφορία ατμού, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει ηλεκτρικές αντιστάσεις για τη θέρμανση του πετρελαίου. Συχνά συνδυάζονται οι δύο τρόποι για λόγους ασφαλείας. Η προθέρμανση γίνεται στα ακόλουθα σημεία του δικτύου πετρελαίου:

– Εντός της δεξαμενής αποθηκεύσεως βαρέος πετρελαίου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η άντληση του πετρελαίου. Το βαρύ πετρέλαιο διατηρείται στις δεξαμενές αποθηκεύσεως σε θερμοκρασία 40^o - 50^o C ή και μεγαλύτερη, με τη χρήση διατάξεως θερμάνσεως (σερπαντίνες ατμού).
– Εντός της δεξαμενής αποθηκεύσεως πετρελαίου Diesel. Στο εσωτερικό τους, οι δεξαμενές αυτές διατρέχονται από θερμαντικά στοιχεία ατμού (σερπαντίνες ατμού), για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του καυσίμου μεταξύ 15 και 40^o C. Η



Σχ. Π.Γ.1ιζ.
Οι τρεις κύριοι τύποι εναλλακτών θερμότητας επιφάνειας.

θέρμανση είναι συχνά επιβεβλημένη για τη μείωση του ιξώδους του πετρελαίου και την εύκολη ροή του στις σωληνώσεις του δικτύου.

– Εντός των δεξαμενών καθιζήσεως. Αυτές θερμαίνονται, έτσι ώστε η θερμοκρασία του ελαφρού πετρελαίου Diesel να βρίσκεται μεταξύ 20 και 40^o C, ενώ για το βαρύ πετρέλαιο μεταξύ των 60 και 70^o C.
– Πριν τους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες. Οι προθερμαντήρες αυτοί πρέπει να έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν με μεγάλη ακρίβεια τη θερμοκρασία του καυσίμου (με ακρίβεια 2^o C) γιατί από τη θερμοκρασία εξαρτάται το ιξώδες του. Το ιξώδες πρέπει να έχει συγκεκριμένες τιμές για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό του καυσίμου από τα στερεά κατάλοιπα. Η συνήθης θερμοκρασία προθερμάνσεως του βαρέος πετρελαίου είναι 98^o C.
– Στις δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως.
– Πριν τις αντλίες ψεκασμού, για τη ρύθμιση του ιξώδους του πετρελαίου, ώστε να γίνεται σωστά η έγχυσή του στον κύλινδρο. Αμέσως μετά τον τελικό προθερμαντήρα τοποθετείται ιξωδόμετρο, το οποίο ρυθμίζει την παροχή ατμού στον προθερμαντήρα, έτσι ώστε το ιξώδες του καυσίμου να βρίσκεται πάντα μέσα στα επιθυμητά όρια. Για λόγους ασφαλείας (σε περίπτωση βλάβης του ιξωδομέτρου), τοποθετείται και θερμοστάτης, ο οποίος δεν επιτρέπει να πέσει η θερμοκρασία κάτω από συγκεκριμένο όριο.

Στην επόμενη παράγραφο περιγράφονται μερικοί τύποι προθερμαντήρων ατμού.

β) Προθερμαντήρες πετρελαίου λεβήτων.

Για να ελαττωθεί το ιξώδες του πετρελαίου και να γίνει πιο λεπτόρρευστο, για τον ικανοποιητικό ψεκασμό από τον καυστήρα του λέβητα, είναι απαραίτητο να έχει ορισμένη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται από 70 έως 120^oC, ανάλογα με τον τύπο του πετρελαίου. Για το σκοπό αυτό, αλλά και για ευκολότερη άντληση του πετρελαίου από τις δεξαμενές αποθηκεύσεως και χρήσεως, γίνεται μια πρώτη προθέρμανσή του με στοιχεία ατμού (σερπαντίνες-σπειροειδείς σωλήνες), που είναι εγκατεστημένα μέσα στις δεξαμενές. Στα στοιχεία αυτά κυκλοφορεί ατμός θερμάνσεως, ο οποίος βέβαια υγροποιείται μερικώς και το νερό επιστρέφει στο δίκτυο υγρών.

Η σημαντικότερη όμως προθέρμανση του πετρελαίου γίνεται μέσα στους προθερμαντήρες, οι οποίοι παρεμβάλλονται μεταξύ της αντλίας πετρελαίου και των καυστήρων.

Οι προθερμαντήρες πετρελαίου είναι γενικά εναλλάκτες επιφάνειας οριζόντιοι ή κατακόρυφοι, στους οποίους ως θερμαντική πηγή χρησιμοποιείται ο ατμός. Κατασκευαστικά είναι όμοιοι με τα ψυγεία και τους λοιπούς εναλλάκτες.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι πιο συνηθισμένοι τύποι προθερμαντήρων:

1) Προθερμαντήρας πετρελαίου με σπειροειδείς αυλούς.

Είναι πολύ διαδεδομένος τύπος προθερμαντήρα και αποτελείται από κυλινδρικό κέλυφος από χάλυβα, που κλείνει με δύο πώματα. Στο εσωτερικό του είναι τοποθετημένοι οι αυλοί που περιελίσσονται σε μια ή περισσότερες σπείρες, εντός των οποίων κυκλοφορεί ο ατμός. Εντός του κυλινδρικού δοχείου του προθερμαντήρα κυκλοφορεί το προς θέρμανση πετρέλαιο. Το κέλυφος φέρει δείκτη στάθμης υγρών, που είναι προσαρμοσμένος στο εξωτερικό του.

2) Προθερμαντήρας πετρελαίου με πτερυγωτούς αυλούς.

Σε αυτόν τον τύπο, για να αυξηθεί η επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας από τον ατμό προς το πετρέλαιο, χρησιμοποιούνται αυλοί, εφοδιασμένοι εξωτερικά με πτερύγια συγκολλητά στο σώμα τους και κατά μήκος τους. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται γενικά μείωση των διαστάσεων του προθερμαντήρα.

Οι πτερυγωτοί αυλοί του προθερμαντήρα τοποθετούνται μέσα σε σωλήνες μεγαλύτερης διαμέτρου. Ο ατμός θερμάνσεως κυκλοφορεί μέσα στους πτερυγωτούς αυλούς, ενώ το πετρέλαιο στο χώρο μεταξύ εξωτερικών σωλήνων και των πτερυγωτών αυλών. Η διεύθυνση της ροής του πετρελαίου είναι αντίθετη με την αντίστοιχη του ατμού (αντιρροή) για τη βελτίωση της αποδόσεως του εναλλάκτη θερμότητας.

3) Προθερμαντήρας πετρελαίου απλής διαδρομής.

Ο προθερμαντήρας αυτός είναι αυλωτός, όπου μέσα στους αυλούς κυκλοφορεί (σε απλή διαδρομή, χωρίς επιστροφή), το προς προθέρμανση πετρέλαιο, ενώ εξωτερικά των αυλών κυκλοφορεί ο ατμός, ο οποίος προθερμαίνει το πετρέλαιο.

γ) Προθερμαντήρες αέρα λεβήτων.

Είναι επιφανειακοί εναλλάκτες θερμότητας, που

χρησιμεύουν στην προθέρμανση του αέρα των λεβήτων. Άλλοτε είναι ενσωματωμένοι στην κατασκευή του κύριου λέβητα, και άλλοτε τοποθετούνται ως πρόσθετες εξωτερικές συσκευές, οπότε και τοποθετούνται στην έξοδο των καυσαερίων, πριν την καπνοδόχο.

Οι απλούστεροι προθερμαντήρες αποτελούνται από δέσμη χαλυβδίνων αυλών, από το εσωτερικό των οποίων διέρχονται τα καυσαέρια. Εξωτερικά, οι αυλοί περιβάλλονται από τον αέρα, που προθερμαίνεται και στη συνέχεια, οδηγείται προς την εστία. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται εκμετάλλευση μέρους της θερμότητας των καυσαερίων που οδεύουν προς την ατμόσφαιρα.

δ) Προθερμαντήρες λαδιού λιπάνσεως και μειωτήρων.

Για την προθέρμανση του λαδιού γενικά χρησιμοποιούνται προθερμαντήρες επιφανείας με ατμό, αυλωτοί ή με επίπεδες πλάκες, ή και προθερμαντήρες με χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων.

ε) Προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού λεβήτων.

Η προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, πριν αυτό εισέλθει στο λέβητα, είναι απαραίτητη, γιατί έτσι επιτυγχάνεται οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του λέβητα.

Είναι γνωστό ότι το νερό του συμπυκνώματος του ψυγείου έχει θερμοκρασία περίπου 40^{o}C, ενώ η θερμοκρασία, με την οποία συντελείται η ατμοποίηση στο λέβητα φτάνει και τους 250^{o}C σε ναυτικές εγκαταστάσεις. Σε εγκαταστάσεις ξηράς είναι μεγαλύτερη.

Με την προθέρμανση μειώνεται αισθητά η διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω θερμοκρασιών και αποφεύγεται η ψύξη των μερών του λέβητα που είναι πλησιέστερα προς το τροφοδοτικό επιστόμιό του. Η ψύξη αυτή θα προκαλούσε ανομοιόμορφες συστολές των υλικών του λέβητα, ισχυρές τάσεις παραμορφώσεως και διαρροές σε αυτόν. Με τη προθέρμανση ελαττώνεται επίσης η περιεκτικότητα του νερού σε αέρα, οπότε περιορίζονται στο ελάχιστο οι διαβρώσεις των μερών του λέβητα. Η προθέρμανση διευκολύνει την κυκλοφορία και δημιουργεί ευνοϊκότερες συνθήκες ατμοπαραγωγής.

Η οικονομία στην κατανάλωση προέρχεται από το γεγονός ότι η θερμότητα που περιέχεται στα καυσαέρια των μηχανών χρησιμοποιείται επωφελώς για τη θέρμανση του νερού, που έτσι απαιτεί λιγότερη θερμότητα καύσεως. Η θερμότητα αυτή διαφορετικά θα χανόταν, μιας και απάγεται από το νερό κυκλοφορίας του ψυγείου. Το ίδιο ισχύει και για την προθέρμανση του νερού με τη βοήθεια των προς την ατμόσφαιρα επαγομένων καυσαερίων του λέβητα. Τη θερμότητα των καυσαερίων αυτών εκμεταλλευόμασθε σε ιδιαίτερη συσκευή, τον ***οικονομητήρα***, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στο λέβητα.

Π.Γ.1.7 Ψυγεία.

Τα ***ψυγεία*** είναι εναλλάκτες θερμότητας, με τους οποίους επιτυγχάνεται η μείωση της θερμοκρασίας ενός ρευστού με τη ροή κάποιου άλλου ψυχρότερου ρευστού, το οποίο καλείται ***ψυκτικό μέσο***.

Η ψύξη, όταν το ψυχόμενο ρευστό βρίσκεται σε κατάσταση ατμών, συνοδεύεται από μερική ή ολική συμπύκνωση των ατμών και αντίστοιχη μετάβαση του ρευστού σε υγρή κατάσταση. Σε περίπτωση που το ψυχόμενο ρευστό είναι υγρό (λάδι λιπάνσεως, νερό κ.λ.π.) τότε τα ψυγεία αποκαλούνται ***ψυκτήρες*** (coolers). Τα ψυγεία διακρίνονται σε απλής ροής, όπου το υγρό ρέει προς μια κατεύθυνση και διπλής ή αναστρεφόμενης ροής.

Στις εμβολοφόρες ΜΕΚ χρησιμοποιούνται ψυγεία-ψυκτήρες, τύπου επιφανειακής μεταδόσεως θερμότητας, αυλωτά, κυψελωτά, ή με επίπεδες επιφάνειες. Ως προς τον τρόπο μεταδόσεως της θερμότητας, εφαρμόζεται σε αυτά η αρχή της αντίστροφης ροής (αντιρροής) των εναλλακτών θερμότητας. Είναι ψυγεία διπλής ή και τετραπλής ροής, όπου το ψυχόμενο ρευστό πραγματοποιεί περισσότερες από μία (μέχρι και οκτώ) διαδρομές μέσα στο ψυγείο, με τη βοήθεια καταλλήλων διαφραγμάτων, που είναι τοποθετημένα κάθετα προς τους αυλούς. Στη συνέχεια, θα περιγράψομε με συντομία ορισμένους από τους αντιπροσωπευτικούς τύπους των ψυγείων που χρησιμοποιούνται στις ΜΕΚ.

α) Ψυγείο νερού ψύξεως της μηχανής.

Στο ψυγείο αυτό πραγματοποιείται η ψύξη του απεσταγμένου νερού ψύξεως της μηχανής, το οποίο κυκλοφορεί με τη βοήθεια της αντλίας νερού σε κλειστό κύκλωμα. Η ψύξη πραγματοποιείται με τη χρήση θαλασσινού νερού ως ψυκτικό μέσο. Το θαλασσινό νερό κυκλοφορεί μέσα στους αυλούς, ενώ εξωτερικά από αυτούς, σε πολλαπλές διαδρομές, λόγω των διαφραγμάτων, κυκλοφορεί το ψυχόμενο απεσταγμένο νερό.

Το ψυγείο εφοδιάζεται με αυτόματη θερμοστατική βαλβίδα που ρυθμίζεται κατάλληλα, έτσι ώστε

να ελέγχει την ποσότητα του καταθλιβόμενου θαλασσινού νερού μέσω του ψυγείου και να διατηρεί τη θερμοκρασία του απεσταγμένου νερού στις τιμές που απαιτούνται για τη λειτουργία της μηχανής. Η πλεονάζουσα ποσότητα νερού ψύξεως, ελεγχόμενη από θερμοστατική βαλβίδα, οδηγείται μέσω παρακαμπτήριας σωληνώσεως, στην έξοδο. Η θερμοστατική βαλβίδα ελέγχου μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας σε περίπτωση ανωμαλίας της, οπότε η ρύθμιση της ποσότητας του νερού ψύξεως γίνεται χειροκίνητα, με κατάλληλο χειρισμό των επιστομίων, που υπάρχουν για το σκοπό αυτό.

β) Ψυγείο λαδιού.

Το ψυγείο αυτό χρησιμεύει για την ψύξη του λαδιού λιπάνσεως της μηχανής. Είναι αυλωτού ή κυψελωτού τύπου ή με επίπεδες ψυκτικές πλάκες, και η ψύξη επιτυγχάνεται συνήθως με κυκλοφορία θαλασσινού νερού, το οποίο καταθλίβεται από την αντλία κυκλοφορίας θαλασσινού νερού, και αφού πρώτα πραγματοποιήσει την ψύξη του νερού ψύξεως της μηχανής. Φέρει και αυτό θερμοστατική βαλβίδα για τη ρύθμιση της παροχής του θαλασσινού νερού ψύξεως, για να διατηρείται η θερμοκρασία του λαδιού μέσα σε συγκεκριμένα όρια.

Ανάλογα είναι και τα ψυγεία λαδιού λιπάνσεως των μειωτήρων σε περιπτώσεις μεσαίου μεγέθους πετρελαιομηχανών. Οι πετρελαιομηχανές αυτές χρησιμοποιούν μειωτήρες στροφών για τη μετάδοση της κινήσεως από τη μηχανή προς την έλικα. Τα ψυγεία αυτά εξυπηρετούνται από ιδιαίτερη αντλία θαλασσινού νερού ψύξεως.

γ) Ψυγείο νερού ψύξεως καυστήρων.

Είναι ιδιαίτερα μικρό ψυγείο, μέσα στο οποίο ψύχεται το γλυκό (απεσταγμένο ή αφαλατωμένο) νερό που κυκλοφορεί γύρω από τους καυστήρες για την ψύξη τους. Ως ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται και σε αυτό θαλασσινό νερό.

δ) Ψυγείο αέρα.

Στις υπερπληρούμενες ΜΕΚ μεταξύ συμπιεστή και οχετού εισαγωγής τοποθετείται κατάλληλος εναλλάκτης θερμότητας, για την ψύξη του αέρα πριν από την είσοδό του στη μηχανή. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα, η οποία και αυξάνεται κατά τη συμπίεσή του. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της πυκνότητάς του, με αποτέλεσμα τη μείωση της εισερχόμενης μάζας αέρα στον κύλινδρο (οπότε μπορεί να καεί λιγότερο καύσιμο και να μειωθεί η απόδοση της μηχανής).

Τα συγκεκριμένα ψυγεία στις ναυτικές μηχανές συνήθως λειτουργούν με ψυκτικό μέσο το θαλασσινό νερό. Τα ψυγεία αυτά καλούνται ***μεταψυκτήρες*** (after-coolers). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ψυγεία αέρα τοποθετούνται και πριν από την αναρρόφηση των στροβιλοσυμπιεστών και ονομάζονται ***προψυκτήρες*** (precoolers).

ε) Ψυγεία αέρα γεννητριών και κινητήρων.

Για τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα σε μεγάλες ηλεκτρογεννήτριες και ηλεκτροκινητήρες προώσεως, χρησιμοποιούνται ψυγεία διαφόρων τύπων. Η ψύξη του αέρα στην περίπτωση αυτή, είναι συχνά επιβεβλημένη, για την προστασία των μονώσεων, που θα μπορούσαν να καταστραφούν εξαιτίας υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών.

στ) Ψυγεία άλλων βοηθητικών χρήσεων.

Χρησιμοποιούνται επίσης ψυγεία ψυκτικών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων κλιματισμού, ψυγεία βραστήρων, ψυγεία πεπιεσμένου αέρα, ψυγεία νερού κ.λ.π., τα οποία σε γενικές γραμμές είναι όμοια με τα προηγούμενα.

Π.Γ.1.8 Δεξαμενές.

Οι ***δεξαμενές*** αποθηκεύσεως των υγρών διακρίνονται σε δεξαμενές πετρελαίου, δεξαμενές λαδιού, δεξαμενές απεσταγμένου νερού και δεξαμενές ποσίμου νερού.

Οι δεξαμενές πετρελαίου διακρίνονται σε ***δεξαμενές αποθηκεύσεως*** (bunkers), σε ***δεξαμενές καθιζήσεως*** (settling tanks) και σε ***δεξαμενές ημερήσιας καταναλώσεως*** (daily tanks). Για κάθε διαφορετικό τύπο καυσίμου υπάρχουν διαφορετικές δεξαμενές. Στις περιπτώσεις που ο εφοδιασμός πετρελαίου γίνεται από διαφορετικές πηγές επιβάλλεται η αποθήκευση σε ξεχωριστή δεξαμενή για λόγους πιθανής ασυμβατότητας των καυσίμων. Φέρουν όλες θερμαντικά στοιχεία για τη μείωση του ιξώδους του πετρελαίου και κεκλιμένους πυθμένες για την απομάκρυνση των ιζημάτων και του νερού.

Συγκεκριμένες δεξαμενές αποθηκεύσεως, οι οποίες βρίσκονται αντιδιαμετρικά τοποθετημένες αριστερά και δεξιά του πλοίου, χρησιμοποιούνται και για τη ρύθμιση της ευστάθειας και των κλίσεων του σκάφους. Επικοινωνούν μεταξύ τους με ει-

δικά δίκτυα σωληνώσεων και με αντλίες για τη μετάγγιση του πετρελαίου μεταξύ των δεξαμενών.

Οι δεξαμενές πόσιμου ή απεσταγμένου νερού έχουν ειδικές εσωτερικές επιστρώσεις και βαφές για την αποφυγή οξειδώσεως και προσβολής του νερού.

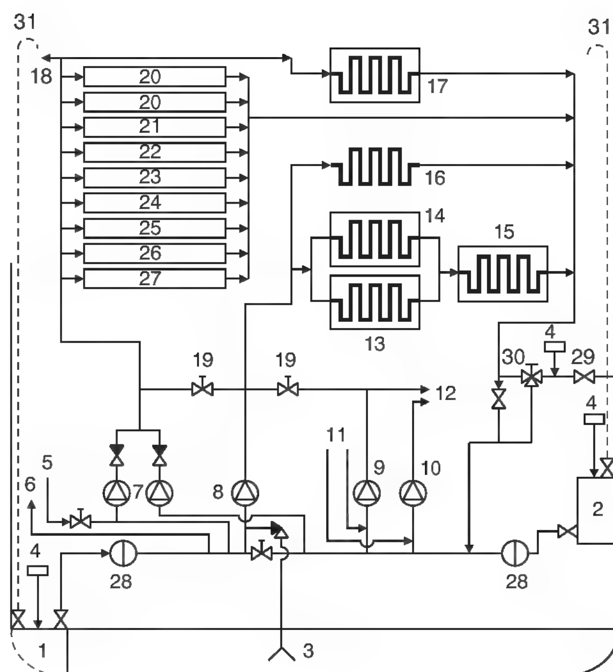
Π.Γ.2 Συστήματα θαλασσινού νερού.

Το θαλασσινό νερό χρησιμοποιείται κυρίως στα συστήματα ψύξεως του μηχανοστασίου, καθώς και σε άλλες χρήσεις στο πλοίο, όπως στον ερματισμό, την πυρόσβεση κ.λ.π. Τα σχήματα Π.Γ.2α και Π.Γ.2β παρουσιάζουν ***τυπικά σύστηματα θαλασσινού νερού***.

Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο συγκεκριμένο δίκτυο από δύο διαφορετικά σημεία αναρροφήσεως, που βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές του πλοίου και σε διαφορετικό ύψος (ψηλό και χαμηλό κιβώτιο αναρροφήσεως). Η χαμηλή αναρρόφηση χρησιμοποιείται εν πλω, όπου είναι πιθανότερο να παραμένει βυθισμένη παρ' όλο το διατοιχισμό ή την πρόνευση του πλοίου. Τα κιβώτια αναρροφήσεως συνδέονται μεταξύ τους με κοινό αγωγό μεγάλης διαμέτρου, ο οποίος διαθέτει βαλβίδα στο μέσον του πλοίου. Μεταλλικά φίλτρα αναρροφήσεως τοποθετούνται και στα δύο κιβώτια. Η αντλίες κυκλοφορίας του θαλασσινού νερού αναρροφούν από τον κοινό αγωγό, που συνδέει τα δύο κιβώτια. Αν υπάρχουν δύο αντλίες για την ίδια χρήση, τότε αυτές αναρροφούν από σημεία εκατέρωθεν της κεντρικής βαλβίδας του κοινού αγωγού.

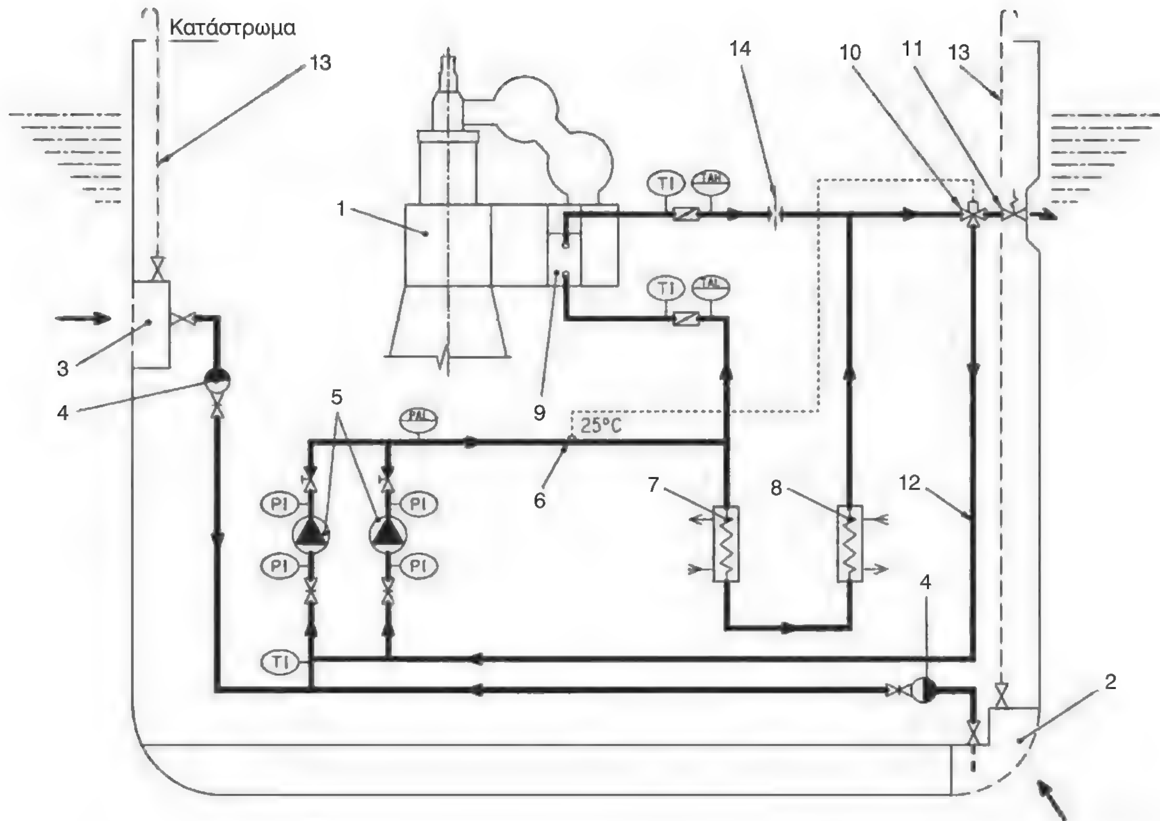
Κάθε κιβώτιο αναρροφήσεως είναι εφοδιασμένο με βαλβίδες, εξαεριστικά, βαλβίδες για ψεκασμό ατμού ή αέρα καθαρισμού και σχάρα, η οποία διαμορφώνεται, έτσι ώστε να αποτελεί μέρος της γάστρας του πλοίου. Σε δεξαμενόπλοια, η υψηλή αναρρόφηση πρέπει να βρίσκεται στο αντίθετο μέρος του πλοίου από αυτό στο οποίο βρίσκεται η εξαγωγή έρματος, διότι είναι ενδεχόμενο να χρησιμοποιούνται και οι δύο εν όρμω. Οι αντλίες θαλασσινού νερού αποτελούν μονάδες υψηλής συντηρήσεως και για το λόγο αυτό οι αντλίες ίδιας ικανότητας είναι συνήθως πανομοιότυπες, έτσι ώστε να απλοποιούνται οι ανάγκες ανταλλακτικών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Το σύστημα ψύξεως με θαλασσινό νερό διακρίνεται σε ***κύριο*** και ***δευτερεύον δίκτυο***. Το κύριο δίκτυο ψύξεως με θαλασσινό νερό συνήθως αποτελείται από τις σωληνώσεις διανομής και δύο αντλίες τροφοδοσίας, η κάθε μια από τις οποίες είναι ικανή



1. Χαμηλό κιβώτιο αναρροφήσεως.
2. Υψηλό κιβώτιο αναρροφήσεως.
3. Αναρρόφηση ασφαλείας δικτύου σεντινών.
4. Παροχή αέρα /ατμού.
5. Από πρυμναία δεξαμενή ζυγοσταθμίσεως.
6. Προς δίκτυα σεντινών, πυροσβέσεως, γενικής χρήσεως, υγιεινής, αποστακτήρα.
7. Βοηθητικές αντλίες κυκλοφορίας.
8. Αντλία κυκλοφορίας κύριας μηχανής.
9. Εφεδρική αντλία κυκλοφορίας κύριας μηχανής.
10. Αντλία έρματος.
11. Από δίκτυο έρματος.
12. Προς δίκτυο έρματος.
13. Ψυγείο νερού εμβόλων.
14. Ψυγείο λαδιού.
15. Ψυγείο νερού χιτωνίων.
16. Ψυγείο αέρα υπερπληρώσεως.
17. Ψυγείο γλυκού νερού Η/Ζ.
18. Προς πρυμναία δεξαμενή ζυγοσταθμίσεως.
19. Βάνες κλειστές υπό ομαλές συνθήκες.
20. Αεροσυμπιεστής εκκινήσεως.
21. Αεροσυμπιεστής συμπληρώσεως.
22. Ψυγείο λαδιού λιπάνσεως χοάνης ελικοφόρου άξονα.
23. Έδρανο ελικοφόρου άξονα.
24. Κλιματισμός.
25. Ψύξη.
26. Συμπυκνωτής.
27. Ψυγείο συμπυκνωμάτων.
28. Φίλτρα αναρροφήσεως.
29. Βαλβίδα απορρίψεως θαλασσινού νερού.
30. Τρίοδη βάνα ρυθμίσεως θερμοκρασίας θαλασσινού νερού (ανακυκλοφορίας).
31. Εξαερισμός.

Σχ. Π.Γ.2α.
Τυπικό σύστημα θαλασσινού νερού.



1. Κύρια μηχανή.
2. Χαμηλό κιβώτιο αναρροφήσεως.
3. Υψηλό κιβώτιο αναρροφήσεως.
4. Φίλτρα αναρροφήσεως.
5. Αντλίες θαλασσινού νερού.
6. Αισθητήρας θερμοκρασίας.
7. Ψυγείο λαδιού λιπάνσεως.
8. Ψυγείο νερού ψύξεως χιτωνίων.
9. Ψυγείο αέρα υπερπληρώσεως.
10. Τρίοδη βάνα ρυθμίσεως της θερμοκρασίας θαλασσινού νερού (ανακυκλοφορίας).
11. Βαλβίδα απορρίψεως θαλασσινού νερού.
12. Επιστροφή ζεστού θαλασσινού νερού.
13. Εξαερισμός.
14. Βαλβίδα στραγγαλισμού.

(PI) Μετρητής πιέσεως.
(TI) Μετρητής θερμοκρασίας.
(PAL) Συναγερμός χαμηλής πιέσεως.
(AH) Συναγερμός υψηλής θερμοκρασίας.
(AL) Συναγερμός χαμηλής θερμοκρασίας.

Σχ. Π.Γ.2β.

Τυπικό συμβατικό σύστημα θαλασσινού νερού.

για τη μέγιστη απαιτούμενη παροχή. Το κύριο δίκτυο μπορεί να τροφοδοτεί με θαλασσινό νερό τις ακόλουθες χρήσεις:

– Ψυγεία λαδιού κύριας μηχανής.
– Ψυγεία γλυκού νερού κύριας μηχανής.
– Ψυγεία αέρα κύριας μηχανής.

Στο δίκτυο του σχήματος Π.Γ.2α, οι απαιτήσεις για την αντλία έρματος ήταν παραπλήσιες με εκείνες για την αντλία ψύξεως της κύριας μηχανής. Ήταν επομένως δυνατή η εγκατάσταση τριών πανομοιότυπων αντλιών, από τις οποίες η μια αντλία έρματος χρησιμοποιείται και ως εφεδρική της αντλίας ψύξεως της κύριας μηχανής. Σε δεξαμενόπλοια, το κύριο δίκτυο ψύξεως με θαλασσινό νερό μπορεί να εξυπηρετεί έναν συμπυκνωτή για τους στροβίλους των αντλιών φορτίου και έρματος. Εναλλακτικά, για το σκοπό αυτόν, μπορεί να εγκατασταθεί χωριστό σύστημα.

Το δευτερεύον δίκτυο ψύξεως με θαλασσινό νερό αποτελείται συνήθως από τις σωληνώσεις διανομής και από δύο αντλίες τροφοδοσίας, η κάθε μια από τις οποίες είναι ικανή για τη μέγιστη παροχή. Το δίκτυο μπορεί να τροφοδοτεί με θαλασσινό νερό τις ακόλουθες χρήσεις:

– Ψυγεία ντηζελογεννητριών.
– Ατμοσφαιρικό συμπυκνωτή και ψυγείο αποστραγγίσεως.
– Ψυγείο γλυκού νερού αεροσυμπιεστών.

– Ψυγείο λαδιού της χοάνης του ελικοφόρου άξονα.
– Έδρανα άξονα.
– Ψυγεία τροφίμων και λοιπών εφοδίων.
– Μηχανήματα κλιματισμού.
– Ψυγεία λαδιού μηχανημάτων καταστρώματος.

Το θαλασσινό νερό που εξέρχεται από τα περισσότερα βοηθητικά μηχανήματα ενώνεται συνήθως με το θαλασσινό νερό που εξέρχεται από τα ψυγεία της κύριας μηχανής μέσω θερμοστατικά ρυθμιζόμενης τρίοδης βαλβίδας ανακυκλοφορίας. Η βαλβίδα αυτή μπορεί να επιστρέφει μέρος του θερμού νερού στη γραμμή αναρροφήσεως απορρίπτοντας το υπόλοιπο στη θάλασσα. Αυτή η ανακυκλοφορία επιτρέπει τη διατήρηση του θαλασσινού νερού που χρησιμοποιείται για ψύξη, σε θερμοκρασία άνω από 20^{o}C, ακόμη και σε πολύ ψυχρό περιβάλλον. Όταν το πλοίο βρίσκεται εν όρμω, με την κύρια μηχανή εκτός λειτουργίας, ο θερμοστάτης παίρνει ένδειξη της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού από το δευτερεύον κύκλωμα ψύξεως.

Το δευτερεύον δίκτυο ψύξεως μπορεί να συνδέεται αμφίδρομα με την πρυμναία ακραία δεξαμενή έρματος, για να υπάρχει η δυνατότητα περιορισμένης λειτουργίας του συστήματος, όταν το πλοίο βρίσκεται σε δεξαμενισμό.

Τα ψυκτικά μηχανήματα, που βρίσκονται συνήθως σε υψηλότερο επίπεδο στο μηχανοστάσιο, μπορεί να τροφοδοτηθούν με ψυκτικό νερό από ανεξάρτητες αντλίες, έτσι ώστε να αποφεύγεται η επιβολή του απαιτούμενου υψηλότερου μανομετρικού ύψους σε όλο το υπόλοιπο δίκτυο. Άλλες χρήσεις στις οποίες συχνά χρησιμοποιούνται ανεξάρτητες αντλίες, είναι οι ακόλουθες:

– Τροφοδοσία, ψύξη και εγχυτήρες αποστακτήρων.
– Σύστημα προλήψεως της αναπτύξεως θαλασσίων μικροοργανισμών.
– Πλυντρίδα (scrubber) αδρανούς αερίου και διάταξη αντεπιστροφής του συστήματος.

Η διάβρωση των υλικών αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στα συστήματα θαλασσινού νερού. Οι σωληνώσεις κατασκευάζονται συνήθως από κράμα χαλκού-νικελίου, γαλβανισμένο χάλυβα ή χάλυβα καλυμμένο εσωτερικά με αδρανές υλικό, όπως πολυαιθυλένιο.

Συνήθως εγκαθίσταται μια σειρά αλληλοσυνδέσεων μεταξύ των διαφόρων αντλιών θαλασσινού νερού, για να είναι δυνατή η συνεχής λειτουργία σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Σε πολύ εξαιρετικές περιπτώσεις κινδύνου, λόγω μεγάλης εισροής υδάτων στο χώρο του μηχανοστασίου, υπάρχει ειδική πρόβλεψη να μπορούν οι αντλίες θαλασσινού νερού να χρησιμοποιούνται και ως αντλίες αποστραγγίσεως των εισερχομένων υδάτων (λόγω της πολύ μεγάλης δυναμικότητάς τους).

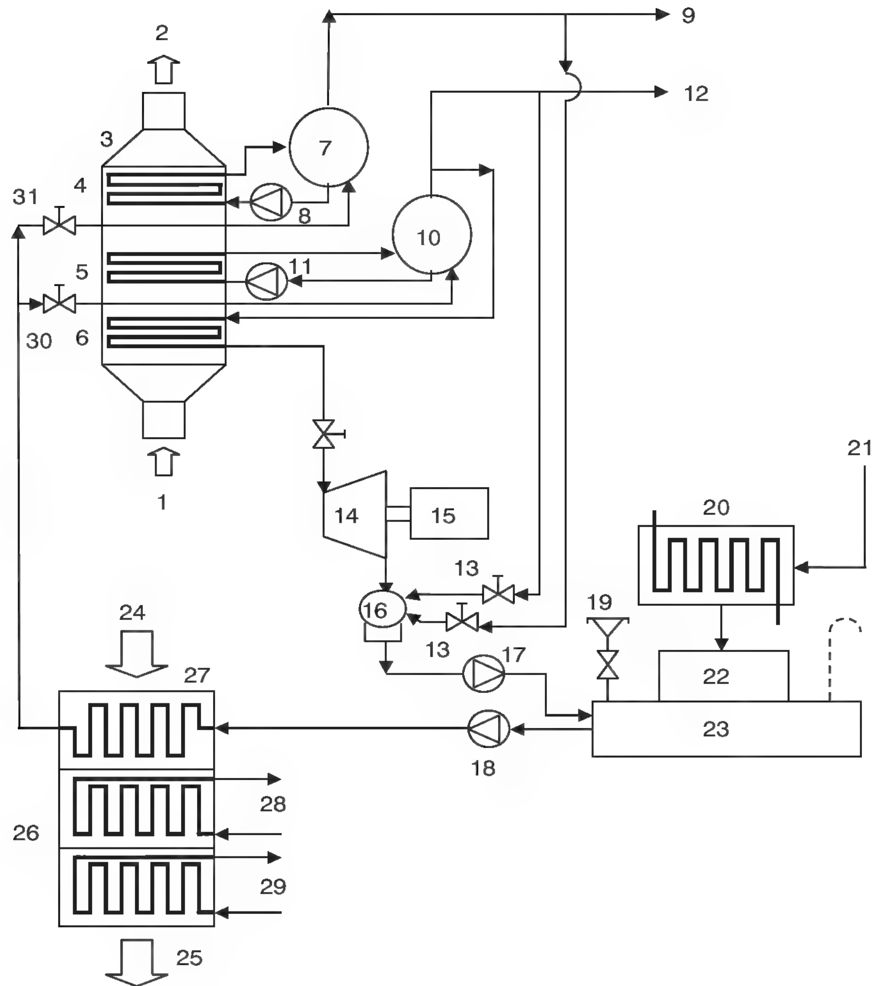
Π.Γ.3 Συστήματα ατμού.

Για να παραχθεί ατμός γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων, μετά την έξοδό τους από τους στροβίλους των στροβιλοϋπερπληρωτών. Η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μερική ανάκτηση της θερμότητας, ονομάζεται ***λέβητας καυσαερίων*** (gas boiler). Αποτελείται από σπειροειδείς αυλούς (υδραυλωτός λέβητας), που διατρέχουν εσωτερικά συγκεκριμένο χώρο του οχετού καυσαερίων και διαβρέχονται εξωτερικά από τα θερμά καυσαέρια. Η ροή του προς ατμοποίηση νερού είναι αντίθετη στη ροή των καυσαερίων (λέβητας αντιρροής).

Στα πλοία με μικρές απαιτήσεις ατμού, χρησιμοποιείται σε σειρά με το λέβητα καυσαερίων, και λέβητας πετρελαίου, ο οποίος ατμοποιεί πλήρως τον υγρό ατμό που εξέρχεται από το λέβητα καυσαερίων (σχ. Π.Γ.3α). Ο λέβητας πετρελαίου είναι ταυτόχρονα και ατμυδροθάλαμος αποθηκεύσεως κεκορεσμένου νερού. Αν υπάρχει περίσσεια παραγόμενου ατμού, τότε αυτή απορρίπτεται μέσω βαλβίδας ρυθμίσεως πιέσεως στο συμπυκνωτή ατμού, στον οποίο κυκλοφορεί θαλασσινό νερό. Αν αντίθετα υπάρχει έλλειψη ατμού ενεργοποιείται πιεζοστατικός διακόπτης, ο οποίος θέτει σε λειτουργία το λέβητα πετρελαίου για τη συμπλήρωση του ατμού. Το γεγονός ότι ο λέβητας πετρελαίου είναι συνεχώς γεμάτος με κεκορεσμένο ατμό και νερό έχει ως αποτέλεσμα την άμεση απόκριση του συστήματος. Μερικές φορές εγκαθίστανται παρακαμπτήριοι αγωγοί καυσαερίων στο λέβητα καυσαερίων, για να είναι δυνατός ο έλεγχος της ποσότητας του παραγόμενου ατμού.

Η πίεση σχεδιασμού στο σύστημα ατμού ενός πλοίου εξαρτάται από τη χρήση του ατμού για τη θέρμανση του καυσίμου: τα πλέον βαρέα καύσιμα απαιτούν θέρμανση στους 170^{o} C περίπου, κάτι που για να επιτευχθεί, απαιτεί κεκορεσμένο ατμό πιέσεως περίπου 8 bar.

Η ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια περιορίζεται από την ελάχιστη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, η οποία δεν πρέπει να είναι ποτέ μικρότερη του σημείου δρόσου των καυσαερίων (160^{o} C). Κατ' αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται η δημιουργία οξέων του θείου, τα οποία θα κατέστρεφαν το δίκτυο εξαγωγής των καυσαερίων. Επιπλέ-



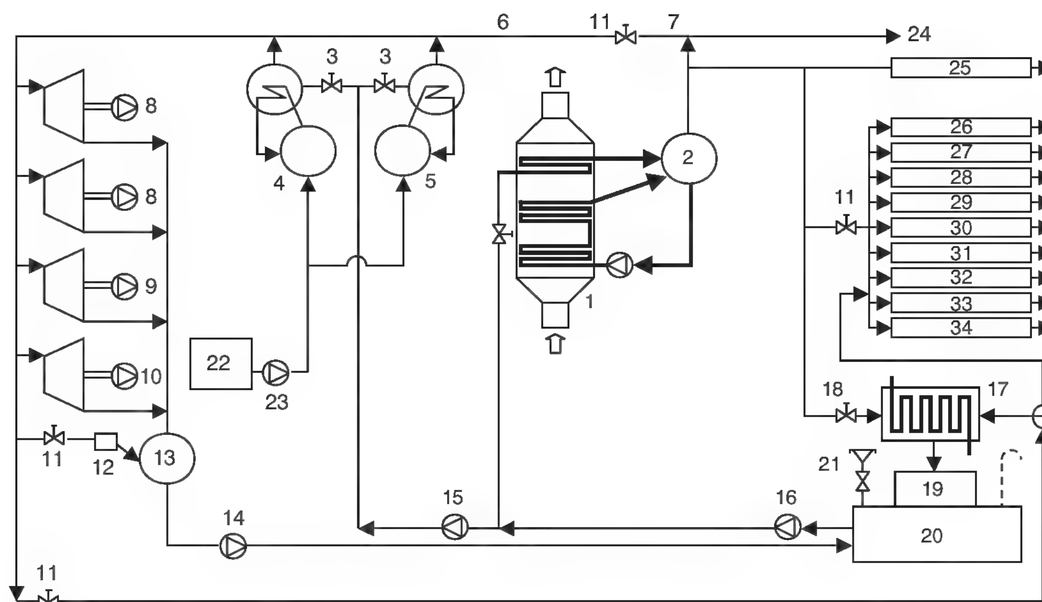
1. Καυσαέρια από κύρια μηχανή.
2. Εξαγωγή καυσαερίων.
3. Λέβητας καυσαερίων.
4. Ατμοποιητής χαμηλής πιέσεως.
5. Ατμοποιητής υψηλής πιέσεως.
6. Υπερθερμαντήρας.
7. Τύμπανο ατμού χαμηλής πιέσεως.
8. Αντλία κυκλοφορίας χαμηλής πιέσεως.
9. Ατμός χαμηλής πιέσεως για προθέρμανση καυσίμου και άλλες χρήσεις.
10. Λέβητας πετρελαίου, τύμπανο ατμού υψηλής πιέσεως.
11. Αντλία κυκλοφορίας υψηλής πιέσεως.
12. Ατμός υψηλής πιέσεως προς τελικούς θερμαντήρες καυσίμου και εκκαπνιστές.
13. Βαλβίδες απορρίψεως περίσσειας ατμού.
14. Ατμοστρόβιλος.
15. Γεννήτρια.
16. Συμπυκνωτής κενού.
17. Αντλία συμπυκνώματος.
18. Τροφοδοτική αντλία.
19. Πρόσθεση χημικών και νερού συμπληρώσεως.
20. Ψυγείο.
21. Επιστροφές.
22. Δεξαμενή επιθεωρήσεως.
23. Δεξαμενή συμπυκνωμάτων.
24. Αέρας από υπερπληρωτή.
25. Αέρας προς κινητήρα.
26. Ψυγείο αέρα υπερπληρώσεως.
27. Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού.
28. Θέρμανση λαδιού ή θέρμανση νερού ή θέρμανση δεξαμενής συμπυκνωμάτων.
29. Ψυγείο αέρα με θαλασσινό νερό.
30. Ρυθμιστική βαλβίδα τροφοδοτικού νερού υψηλής πιέσεως.
31. Ρυθμιστική βαλβίδα τροφοδοτικού νερού χαμηλής πιέσεως.

Σχ. Π.Γ.3α.

Ολοκληρωμένο σύστημα εκμεταλλεύσεως της απορριπτόμενης θερμότητας.

ον, η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν πρέπει να πέσει τόσο χαμηλά γιατί περιορίζεται από τη θερμοκρασία του σημείου κορεσμού του ατμού. Η θερμοκρασία αυτή για πίεση λειτουργίας 8 bar είναι 170^o C. Υπενθυμίζεται ότι για να επιτευχθεί αυτή η θερμοκρασία, πρέπει τα καυσαέρια να έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη των 180^o C.

Ο εξωτερικός καθαρισμός των αυλών του λέβη-



1. Λέβητας καυσαερίων.
2. Τύμπανο ατμού.
3. Βάνα ρυθμίσεως παροχής τροφοδοτικού νερού.
4. Αριστερός λέβητας.
5. Δεξιός λέβητας.
6. Κύριος αγωγός ατμού υψηλής πιέσεως.
7. Κύριος αγωγός ατμού χαμηλής πιέσεως.
8. Αντλίες φορτίου.
9. Αντλία έρματος.
10. Αντλία αποπλύσεως αργού πετρελαίου.
11. Βαλβίδα μειώσεως της πιέσεως.
12. Αντλία αποστραγγίσεως.
13. Συμπυκνωτής ατμού.
14. Αντλία συμπυκνώματος.
15. Τροφοδοτική αντλία λεβήτων πετρελαίου.
16. Τροφοδοτική αντλία λέβητα καυσαερίων.
17. Συμπυκνωτής ατμού.
18. Βαλβίδα απορρίψεως περίσσειας ατμού.
19. Δεξαμενή επιθεωρήσεως.
20. Δεξαμενή συμπυκνωμάτων.
21. Συμπλήρωση νερού.
22. Δεξαμενή νερού αναπληρώσεως.
23. Αντλία νερού αναπληρώσεως.
24. Εκκαπνιστές.
25. Τελικοί θερμαντήρες καυσίμου.
26. Δεξαμενές καυσίμου.
27. Θέρμανση σωλήνων βαρέος πετρελαίου.
28. Θερμαντήρες διαχωριστήρων καυσίμου.
29. Δεξαμενές λαδιού λιπάνσεως.
30. Θερμαντήρες διαχωριστήρων λαδιού λιπάνσεως.
31. Θερμαντήρες νερού χιτωνίων κύριας μηχανής.
32. Θερμαντήρας δεξαμενής κατακαθίσεως.
33. Θερμαντήρας νερού.
34. Διάφορες χρήσεις.

Σχ. Π.Γ.3β.

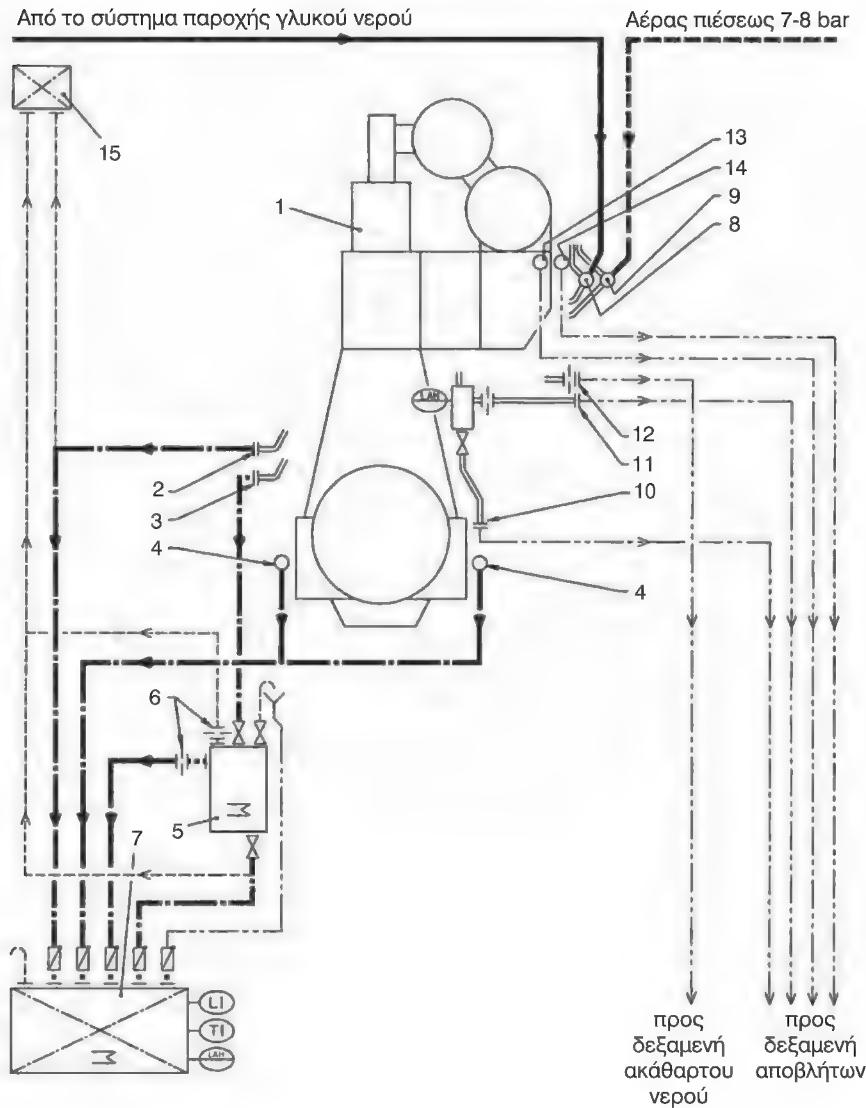
Τυπική εγκατάσταση παραγωγής και χρήσεως ατμού δεξαμενοπλοίου.

τα καυσαερίων από τις επικαθήσεις εξανθρακωμάτων και τέφρας πραγματοποιείται με τη διοχέτευση ατμού μέσω ειδικών διατρήτων σωλήνων, που διατρέχουν το χώρο του λέβητα (εκκαπνιστής).

Στα πλοία με μεγάλες απαιτήσεις σε ατμό δεν είναι ο λέβητας καυσαερίων η βασική μονάδα παραγωγής ατμού. Το σχήμα Π.Γ.3β παρουσιάζει μια ***τυπική εγκατάσταση ατμού δεξαμενοπλοίου***, η οποία εξυπηρετεί τη θέρμανση του φορτίου, την άντληση του φορτίου και έρματος, και τον καθαρισμό των δεξαμενών. Στις περιπτώσεις αυτές, επειδή οι ανάγκες σε ατμό είναι πολύ μεγάλες, ο ατμός παράγεται κυρίως από λέβητα (ή λέβητες) πετρελαίου, οι οποίοι παρέχουν ατμό με πίεση κατάλληλη για τη λειτουργία των στροβίλων των αντλιών φορτίου και έρματος κ.λ.π. Ο λέβητας καυσαερίων σε αυτού του είδους τις εγκαταστάσεις λειτουργεί ως οικονομητήρας για το λέβητα (ή τους λέβητες) πετρελαίου, ή λειτουργεί παράλληλα σε δευτερεύουσες χρήσεις του πλοίου.

Π.Γ.4 Δίκτυα σεντινών.

Οι αποστραγγίσεις απ' όλα τα δίκτυα του μηχανοστασίου, αλλά και από το υπόλοιπο πλοίο, καθώς και οι υπόλοιπες διαρροές υγρών και οι υγροποιήσεις από συμπύκνωση, καταλήγουν στα κατώτερα σημεία των επιμέρους διαμερισμάτων του πλοίου. Εκεί είναι διαμορφωμένοι συλλέκτες ***σεντινών*** (σχ. Π.Γ.4), από όπου αναρροφούν κατάλληλες αντλίες (αντλίες σεντινών). Πριν από τις αντλίες, στον αγω-



1. Κύρια μηχανή (Main engine).
2. Ακάθαρτο λάδι από το συλλέκτη του στυπειοθλίπτη (Dirty oil from piston rod stuffing box).
3. Ακάθαρτο λάδι από το κάτω μέρος του εμβόλου (Dirty oil from piston underside).
4. Ακάθαρτο λάδι από τη μηχανή (Common dirty oil from engine).
5. Παγίδα ιζήματος του λαδιού (Sludge oil trap).
6. Στραγγαλιστικοί δίσκοι (Throtting disc).
7. Δεξαμενή ιζήματος (Sludge or appropriate tank).
8. Εισαγωγή νερού καθαρισμού (Washing water inlet to washing plants, distribution pipe).
9. Εισαγωγή αέρα καθαρισμού (Air inlet to washing plants, distribution pipe).
10. Έξοδος νερού καθαρισμού από το ψυγείο αέρα (Washing water outlet from scavenge air cooler).
11. Αποστράγγιση νερού από το ψυγείο αέρα και το διαχωριστή νερού (Water drains from water separator and from scavenge air cooler).
12. Αποστράγγιση ακάθαρτου νερού ψύξεως από τον οχετό σαρώσεως (Oily water drain from scavenge air receiver).
13. Αποστράγγιση νερού ψύξεως κυλίνδρων και στροβιλοϋπερπληρωτή (Cylinder and turbocharger cooling water drain).
14. Έξοδος νερού καθαρισμού του στροβιλοϋπερπληρωτή (Washing water outlet from turbocharger).
15. Κεντρικός αγωγός εξαερισμού (Air vent manifold)

———	Αγωγοί νερού καθαρισμού (Washing water pipes).
– – – –	Αγωγοί συμπιεσμένου αέρα (Commpressed air pipes).
—·—	Αγωγοί αποστραγγίσεως ακάθαρτου λαδιού (Dirty oil drain pipes).
—··—	Αγωγοί αποστραγγίσεως / υπερχειλίσεως (Drain / overflow pipes).
------	Αεραγωγοί εξαερισμού (Air vent pipes).
═╡ O	Αγωγοί πάνω στη μηχανή / συνδέσεις αγωγών (Pipes on engine / pipe connections).
(LI)	Ενδείκτης στάθμεως (Level indicator).
(TI)	Μετρητής θερμοκρασίας (Tempetature indicator).
(LAH)	Συναγερμός υψηλής στάθμεως (Level alarm high).

Σχ. Π.Γ.4.

Τυπικό σύστημα σεντινών.

γό αναρροφήσεώς τους, υπάρχουν μεταλλικά φίλτρα, τα οποία είναι εύκολα προσπελάσιμα και εύκολα καθαριζόμενα. Οι αντλίες σεντινών του μηχανοστασίου είναι ανεξάρτητες από το υπόλοιπο δίκτυο σεντινών του πλοίου. Τίθενται αυτόματα σε λειτουργία με μηχανισμό πλωτήρα. Οι αντλίες σεντινών είναι συνήθως διπλές, παράλληλα συνδεδεμένες ή απλές, με μια αντλία γενικής χρήσεως του μηχανοστασίου να εκτελεί χρέη εφεδρικής. Οι αντλίες σεντινών είτε είναι αντλίες θετικής εκτοπίσεως-εμβολοφόρες (οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος ξεπιάσματος) είτε χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες, με ειδικό σύστημα αποφυγής του ξεπιάσματος κατά το διατοιχισμό του πλοίου. Πλοία με ειδικές απαιτήσεις ασφαλείας (π.χ. επιβατηγά) μπορεί να έχουν αυξημένο αριθμό αντλιών σεντινών.

Σε όλα τα σημεία του μηχανοστασίου, από όπου μπορεί να υπάρχουν διαρροές ακαθάρτων υγρών (π.χ. μηχανές), διαμορφώνονται ειδικές λεκάνες αποστραγγίσεως προς τους συλλέκτες σεντινών.

Τα υγρά που συγκεντρώνονται στους συλλέκτες σεντινών οδηγούνται σε δεξαμενή αποβλήτων. Επειδή περιέχουν ακαθαρσίες και προϊόντα πετρελαίου και λαδιού, δεν επιτρέπεται η απ' ευθείας απόρριψή τους στη θάλασσα. Στη δεξαμενή αποβλήτων πραγματοποιείται μερική καθίζηση των ακαθαρσιών, ενώ στη συνέχεια, μία αντλία θετικής εκτοπίσεως αναρροφά από τη δεξαμενή αποβλήτων και οδηγεί τα υγρά σε φυγοκεντρικό διαχωριστήρα. Το νερό, μετά το διαχωριστήρα, πολύ καθαρότερο απορρίπτεται στη θάλασσα, ενώ ειδικός αισθητήρας ελέγχει την περιεκτικότητά του σε πετρελαιοειδή. Τα πετρελαιοειδή και τα ιζήματα, που αφαιρούνται στο διαχωριστήρα, οδηγούνται σε ειδική δεξαμενή, μέχρις ότου παραδοθούν σε ειδικό σταθμό στην ξηρά, ή καούν σε αποτεφρωτήρα, ή βοηθητικό λέβητα.

Π.Γ.5 Δίκτυο αερισμού μηχανοστασίου.

Το δίκτυο αερισμού του μηχανοστασίου είναι ουσιώδες, γιατί εξασφαλίζει πρωτίστως την ικανοποιητική τροφοδοσία των μηχανών και των λεβήτων με τον απαιτούμενο αέρα καύσεως. Ταυτόχρονα, φροντίζει για τη διατήρηση καθαρής ατμόσφαιρας με ανεκτά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας εντός του μηχανοστασίου

Αεραγωγοί καταλήγουν στις θέσεις που υπάρχει ανάγκη για τροφοδοσία με αέρα. Στα στόμια εξαγωγής των σωλήνων προσαρμόζονται διαφράγματα ρυθμίσεως της παροχής και της διευθύνσεως του προσαγόμενου αέρα. Οι αγωγοί που τροφοδοτούν τις μηχανές (κύριες και ηλεκτρομηχανές), καταλήγουν πάνω από τα σημεία αναρροφήσεως των συμπιεστών των στροβιλοϋπερπληρωτών, ενώ οι αγωγοί των λεβητοστασίων καταλήγουν πάνω από τους καυστήρες.

Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από γαλβανισμένη λαμαρίνα, με εσωτερική επικάλυψη. Τις κατάλληλες ποσότητες αέρα εξασφαλίζουν τουλάχιστον 4 ανεμιστήρες, από τους οποίους ένας ή δύο είναι αναστρεφόμενοι (εξαεριστήρες), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ρύθμιση της ροής του αέρα. Η έξοδος της περίσσειας του αέρα γίνεται από άνοιγμα στο πίσω μέρος της καπνοδόχου (σπειράγια).

Ο θάλαμος ελέγχου του μηχανοστασίου (control room) όπως επίσης και τα μηχανουργεία συνήθως αερίζονται από ανεξάρτητες μονάδες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΤ' ΕΠΙΛΟΓΗΝ

1. *Κωνστ. Δ. Ρακόπουλος*, Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Εκδόσεις Φούντας, 2001.
2. *Κωνστ. Δ. Ρακόπουλος*, Εμβολοφόρες Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, Εκδόσεις Πλαίσιο, 1986.
3. *Νικόλαος Π. Κυρτάτος*, Ναυτικοί Κινητήρες Diesel, Θέματα Σχεδίασης και Λειτουργίας, Εκδόσεις Συμμετρία, 1993.
4. Εταιρία Ναυπηγών και Ναυτικών Μηχανολόγων ΗΠΑ. Μέθοδος Προμελέτης Ναυτικών Συστημάτων με Κινητήρες Diesel, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1999.
5. *Κ. Δ. Παπαηλιού*, Κ. Π. Μαθιουδάκης, Κ. Χ. Γιαννάκογλου. Εισαγωγή στις Θερμικές Στροβιλομηχανές, ΄Εκδοση Ε.Μ.Π. 1997.
6. *Π. Κούτμος*, Εισαγωγή στις Εμβολοφόρες Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1992.
7. *Ε. Λόης*, Σημειώσεις Θεωρίας και Τεχνικής της Καύσης, Ε.Μ.Π., 1992.
8. *Ευθ. Α. Βούσουρας*, Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, 1994.
9. *Γ. Φ. Δανιήλ, Κ.Η. Μιμηκόπουλος*, Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων, ΄Ιδρυμα Ευγενίδου, 1999.
10. *Φ. Ζαννίκος, Σ. Στούρνας*, Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών (Σημειώσεις Μαθήματος), Ε.Μ.Π., 1991.
11. Automotive Handbook, 4th Edition, Robert Bosch GmbH, 1996.
12. Gasoline-engine management, 1st Edition, Robert Bosch GmbH, 1999.
13. Diesel-engine management, 2nd Edition, Robert Bosch GmbH, 1999.
14. *L.R.C. Lilly* (editor), Diesel Engine, Reference Book, 1st edition, Butterworth, 1986.
15. *B. Challen*, *R. Baranescu* (editors), Diesel Engine, Reference Book, 2nd edition, Butterworth Heinemann, 1999.
16. *J. B. Heywood*, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill ed., 1988.
17. *C.F. Taylor*, The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Vol. 1, The M.I.T. Press, 1998.
18. *C.F. Taylor*, The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Vol. 2, The M.I.T. Press, 1985.
19. *C. C. Pounder,* Marine Diesel Engines, Butterworth ed., 1973.
20. *D. Woodyard*, Pounder's Marine Diesel Engines, Butterworth Heinemann ed., 1998.
21. *William W. Bathie*, Furdamentals of Gas Turbines, second edition, John Wiley and sons, 1996.
22. *H. Cohen*, *GFC Rogers, HIH Saravanamuttoo*, Gas Turbine theory, 4th edition, Addison Wesley Longman Ltd, 1996,
23. *R. E. Sonntag*, *G. J. Van Wylen*, Introduction to Thermodynamics, classical and statistical, 3rd edition, John Wiley & sons ed., 1991.
24. Guidelines for the Lubrication of Medium Speed Diesel Engines, CIMAC, 1994.
25. Basic Marine Lubrication, Book 1, Principles of lubrication and general application, Videotel (in association with Castrol and The Institute of Marine Engineers), 1992.
26. Basic Marine Lubrication, Book 2, Lubrication, slow and medium speed marine diesel engines, Videotel (in association with Castrol and The Institute of Marine Engineers), 1992.
27. S80MC Mk7 Project Guide, Two-stroke Engines, MAN B&W.
28. Engine selection guide for MC/MC-C Engines, MAN B&W.
29. Axial flow turbochargers (NA series), MAN B&W.
30. Product features, three medium-speed engines - one design concept, L40/54, L/V 48/60, L 54/64, MAN B&W.
31. *J. Jenzer*, Some vibration aspects on modern ship installations, Wartsila NSD.
32. *R. Holtbecker*, *M. Geist*, Exhaust emissions reduction technology for Sulzer marine diesel engines: general aspects, Wartsila NSD.
33. *M. Geist*, Sulzer RTA-8T engines: Compact two-strokes for tankers and bulk carriers, Wartsila NSD.
34. *M. Geist*, Sulzer RTA-84T engines: Taylor-made propulsion for VLCCs, Wartsila NSD.
35. *R. Demmerle*, Sulzer RTA84C and RTA96C engines: The reliable driving forces for large, fast containerships, Wartsila NSD.
36. Project Guide for Marine Aplications, 20, 200, 26, 32, 46, 64, Wartsila NSD.
37. SULZER RTA-T Engine Selection and Project Manual, Wartsila NSD, 1999.
38. Daihatsu Diesel Engine Instruction Book, DK-20, Daihatsu Diesel MFG Co. Ltd.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΔΙΚΤΥΑ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ